

OFDM RECEIVER AND ITS FREQUENCY OFFSET COMPENSATION METHOD

Publication number: JP2001036500 (A)

Publication date: 2001-02-09

Inventor(s): IMAMURA KIMIHIKO; MATSUSHITA YOSHITERU; TSUBOI HIDEKAZU; YOSHIMOTO TAKASHI +

Applicant(s): SHARP KK + (SHARP CORP)

Classification:

- **international:** *H04J11/00; H04L7/00; H04L27/26; H04J11/00; H04L7/00; H04L27/26; (IPC1-7): H04J11/00; H04L7/00*

- **European:** H04L27/26M5C3

Application number: JP19990248666 19990902

Priority number(s): JP19990248666 19990902; JP19990136639 19990518

Also published as:

JP3486576 (B2)

EP1179901 (A1)

EP1179901 (B1)

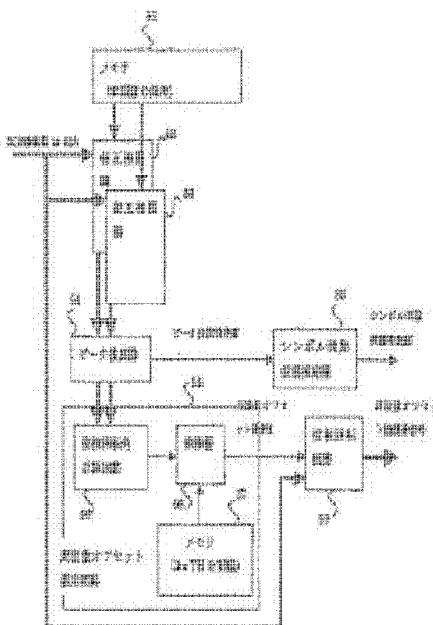
US7149266 (B1)

WO0070802 (A1)

more >>

Abstract of JP 2001036500 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an OFDM receiver where a frequency offset compensation range can be extended. **SOLUTION:** The OFDM receiver that receives and demodulates an OFDM signal with a start symbol added thereto prior to a data symbol is provided with a memory means 51 that stores N kinds (N is a natural number being 2 or over) of reference signals equivalent to part in the start symbol, cross-correlation means 52, 53 that calculate a cross-correlation between the OFDM signal and N kinds of the reference signals, a peak position detection means 54 that detects a peak position of N-sets of the cross-correlation values obtained by the cross-correlation means 52, 53, and a frequency offset estimate means 55 that estimates a frequency offset on the basis of the cross-correlation at N-sets of the peak positions.; The OFDM receiver compensates the frequency offset of the OFDM signal on the basis of the frequency offset estimated by the frequency offset estimate means 55.



Data supplied from the *espacenet* database — Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-36500
(P2001-36500A)

(43)公開日 平成13年2月9日(2001.2.9)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
H 0 4 J 11/00		H 0 4 J 11/00	Z 5 K 0 2 2
H 0 4 L 7/00		H 0 4 L 7/00	F 5 K 0 4 7

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 43 頁)

(21)出願番号	特願平11-248666	(71)出願人	000005049 シャープ株式会社 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
(22)出願日	平成11年9月2日(1999.9.2)	(72)発明者	今村 公彦 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ ャープ株式会社内
(31)優先権主張番号	特願平11-136639	(72)発明者	松下 佳輝 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ ャープ株式会社内
(32)優先日	平成11年5月18日(1999.5.18)	(74)代理人	100108338 弁理士 七條 耕司 (外1名)
(33)優先権主張国	日本(J P)		

最終頁に続く

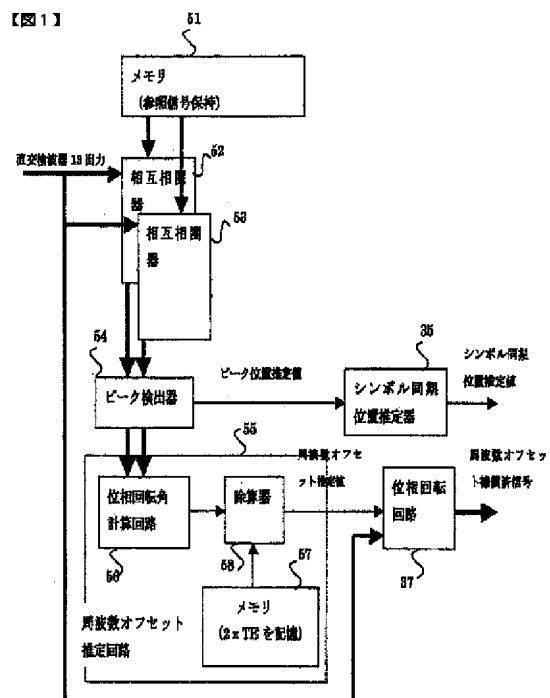
(54)【発明の名称】 OFDM受信装置及びその周波数オフセット補償方法

(57)【要約】

【課題】 周波数オフセット補償範囲を拡大することが可能なOFDM受信装置を提供する。

【解決手段】 データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置において、前記スタートシンボル中の任意の一部に相当する参照信号をN種類(Nは2以上の自然数)保持するメモリ手段51と、前記OFDM信号と前記N種類の参照信号との相互相関値を計算する相互相関手段52、53と、前記相互相関手段52、53により得られたN個の相互相関値のピーク位置を検出するピーク位置検出手段54と、前記N個のピーク位置における相互相関値から、周波数オフセット値を推定する周波数オフセット推定手段55とを備え、前記周波数オフセット推定手段55にて推定された周波数オフセット値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償するものである。

【図1】



【特許請求の範囲】

【請求項1】 データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置において、
前記スタートシンボル中の任意の一部に相当する参照信号をN種類（Nは2以上の自然数）保持するメモリ手段と、
前記OFDM信号と前記N種類の参照信号との相互相関値を計算する相互相関手段と、
前記相互相関手段により得られたN個の相互相関値のピーク位置を検出するピーク位置検出手段と、
前記N個のピーク位置における相互相関値から、周波数オフセット値を推定する周波数オフセット推定手段とを備え、
前記周波数オフセット推定手段にて推定された周波数オフセット値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償することを特徴とするOFDM受信装置。

【請求項2】 請求項1に記載のOFDM受信装置において、
前記周波数オフセット推定手段は、前記N個のピーク位置における各相互相関値間の位相差を計算する位相回転角計算手段と、
前記各参照信号の組に対して、ある特定の周波数オフセットが存在する状態における相互相関値の位相回転角に基づいた参照データを記憶する記憶手段と、
前記位相回転角計算手段にて求められた相互相関値間の位相差を、前記参照データで除算する除算手段とを有することを特徴とするOFDM受信装置。

【請求項3】 データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置において、
前記スタートシンボル中の任意の一部に相当する参照信号をN種類（Nは3以上の自然数）保持するメモリ手段と、
前記OFDM信号と前記N種類の参照信号との相互相関値を計算する相互相関手段と、
前記相互相関手段により得られたN個の相互相関値のピーク位置を検出するピーク位置検出手段と、
前記N個のピーク位置における相互相関値から、推定された複数の周波数オフセット値を平均して出力する周波数オフセット推定手段とを備え、
前記周波数オフセット推定手段にて平均化された周波数オフセット値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償することを特徴とするOFDM受信装置。

【請求項4】 データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置において、
前記スタートシンボル中の任意の一部に相当する参照信号をN種類（Nは2以上の自然数）保持する第1のメモリ手段と、

受信したOFDM信号または第2のメモリ手段に保持されている推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号と、前記N種類の参照信号との相互相関値を計算する相互相関手段と、
前記相互相関手段により得られたN個の相互相関値のピーク位置における相互相関値から周波数オフセット値を推定する周波数オフセット推定手段と、
前記周波数オフセット推定手段にて推定された周波数オフセット値に基づいて、受信したOFDM信号または推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号を位相回転して保持する前記第2のメモリ手段と、
前記周波数オフセット推定手段にて推定された周波数オフセット値を加算する周波数オフセット推定値加算手段とを備え、

周波数オフセットの推定を行う際、1組の参照信号（1組は2種類以上の参照信号からなる）を用いて、繰り返し周波数オフセットの推定・補償を行うことにより、周波数オフセット推定値を求め、この周波数オフセット推定値の加算値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償することを特徴とするOFDM受信装置。

【請求項5】 データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置において、
前記スタートシンボル中の任意の一部に相当する参照信号をN種類（Nは3以上の自然数）保持する第1のメモリ手段と、
受信したOFDM信号または第2のメモリ手段に保持されている推定された周波数オフセット推定値に基づいて位相回転されたOFDM信号と、前記N種類の参照信号との相互相関値を計算する相互相関手段と、
前記相互相関手段により得られたN個の相互相関値のピーク位置における相互相関値から周波数オフセット値を推定する周波数オフセット推定手段と、
前記周波数オフセット推定手段にて推定された周波数オフセット値に基づいて、受信したOFDM信号または推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号を位相回転して保持する前記第2のメモリ手段と、
前記周波数オフセット推定手段にて推定された周波数オフセット値を加算する周波数オフセット推定値加算手段とを備え、

周波数オフセットの推定を行う際、1組の参照信号（1組は3種類以上の参照信号からなる）を用いて、繰り返し周波数オフセットの推定・補償を行うことにより、周波数オフセット推定値を求め、この周波数オフセット推定値の加算値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償することを特徴とするOFDM受信装置。

【請求項6】 データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOF

DM受信装置において、
 前記スタートシンボル中の任意の一部に相当するN種類（Nは2以上の自然数）の参照信号、および参照信号の組（1組は2種類以上の参照信号からなる）に対して、ある特定の周波数オフセットが存在する状態における相互相関値の位相回転角に基づいた複数の参照データを保持する第1のメモリ手段と、
 受信したOFDM信号または第2のメモリ手段に保持されている推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号と、前記参照信号のうち既に周波数オフセットの推定に使用された参照データを除く最小の参照データに対応する参照信号の組との相互相関値を計算する相互相関手段と、
 前記相互相関手段により得られた相互相関値のピーク位置における相互相関値および参照信号の組に対応する前記参照データに基づいて周波数オフセット値を推定する周波数オフセット推定手段と、
 前記周波数オフセット推定手段にて推定された周波数オフセット値に基づいて、受信したOFDM信号または推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号を位相回転して保持する前記第2のメモリ手段と、
 前記周波数オフセット推定手段にて推定された周波数オフセット値を加算する周波数オフセット推定値加算手段とを備え、
 周波数オフセットの推定を行う際、参照データの異なる複数の参照信号の組を用いて、繰り返し周波数オフセットの推定・補償を行うことにより、周波数オフセット値を求め、この周波数オフセット推定値の加算値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償することを特徴とするOFDM受信装置。
 【請求項7】 データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置において、
 前記スタートシンボル中の任意の一部に相当するN種類（Nは2以上の自然数）の参照信号を保持するとともに、それぞれの参照信号について、ある任意のC/Nに対して最適とされる参照信号幅データ、および前記各参照信号の組に対して、ある特定の周波数オフセットが存在する状態における相互相関値の位相回転角に基づいた参照データのテーブルを保持するメモリ手段と、
 受信されたOFDM信号のC/Nを検出するC/N検出手段と、
 前記OFDM信号と、前記検出されたC/Nに基づいて前記メモリ手段から選択された参照信号幅データおよび参照データに対応する前記N種類の参照信号との相互相関値を計算する相互相関手段と、
 前記相互相関手段により得られたN個の相互相関値のピーク位置における相互相関値から、周波数オフセット値を推定する周波数オフセット推定手段とを備え、

前記周波数オフセット推定手段にて推定された周波数オフセット値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償することを特徴とするOFDM受信装置。

【請求項8】 請求項7に記載のOFDM受信装置において、

前記相互相関手段は、前記C/N検出手段が、相対的に小さなC/Nを検出した時は、前記OFDM信号と、前記メモリ手段から選択された所定の参照データおよび相対的に大きな前記参照信号幅データに対応する前記N種類の参照信号との相互相関値を計算する手段であることを特徴とするOFDM受信装置。

【請求項9】 請求項7に記載のOFDM受信装置において、

前記相互相関手段は、前記C/N検出手段が、相対的に小さなC/Nを検出した時は、前記OFDM信号と、前記メモリ手段から選択された所定の参照信号幅データおよび相対的に大きな前記参照データに対応する前記N種類の参照信号との相互相関値を計算する手段であることを特徴とするOFDM受信装置。

【請求項10】 請求項7に記載のOFDM受信装置において、

前記相互相関手段は、前記C/N検出手段が、相対的に小さなC/Nを検出した時は、前記OFDM信号と、前記メモリ手段から選択された相対的に大きな参照信号幅および相対的に大きな前記参照データに対応する前記N種類の参照信号との相互相関値を計算する手段であることを特徴とするOFDM受信装置。

【請求項11】 請求項1乃至請求項10のいずれか1つの請求項記載のOFDM受信装置において、
 前記周波数オフセット値に基づく、前記OFDM信号の周波数オフセットの補償は、前記OFDM受信装置に設けられる直交検波手段の局部発振器の周波数を制御することにより行うことを特徴とするOFDM受信装置。

【請求項12】 データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置の周波数オフセット補償方法において、
 前記OFDM信号と、前記スタートシンボル中の任意の一部に相当するN種類（Nは2以上の自然数）の参照信号との相互相関値を計算するステップと、
 得られたN個の相互相関値のピーク位置を検出するステップと、
 前記N個のピーク位置における相互相関値から、周波数オフセット値を推定するステップと、
 前記推定された周波数オフセット値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償するステップと、
 からなることを特徴とするOFDM受信装置の周波数オフセット補償方法。

【請求項13】 データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置の周波数オフセット補償方法において、

受信したOFDM信号または保持されている推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号と、前記スタートシンボル中の任意の一部に相当するN種類(Nは2以上の自然数)の参照信号との相互相関値を計算するステップと、
 前記相互相関値計算により得られたN個の相互相関値のピーク位置における相互相関値から周波数オフセット値を推定するステップと、
 前記推定された周波数オフセット値に基づいて、受信したOFDM信号または推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号を位相回転して保持するステップと、
 前記推定された周波数オフセット値を加算するステップと、
 前記加算された周波数オフセット値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償するステップと、
 からなることを特徴とするOFDM受信装置の周波数オフセット補償方法。

【請求項14】 データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置の周波数オフセット補償方法において、受信したOFDM信号または保持されている推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号と、前記参照信号のうち既に周波数オフセットの推定に使用された参照データを除く最小の参照データに対応する参照信号の組との相互相関値を計算するステップと、
 前記相互相関値計算により得られた相互相関値のピーク位置における相互相関値および参照信号の組に対応する参照データに基づいて周波数オフセット値を推定するステップと、
 前記推定された周波数オフセット値に基づいて、受信したOFDM信号または推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号を位相回転して保持するステップと、
 前記推定された周波数オフセット値を加算するステップと、
 前記加算された周波数オフセット値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償するステップと、
 からなることを特徴とするOFDM受信装置の周波数オフセット補償方法。

【請求項15】 データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置の周波数オフセット補償方法において、受信されたOFDM信号のC/Nを検出するステップと、
 前記OFDM信号と、前記検出されたC/Nに基づいて選択された参照信号幅データおよび参照信号間ずれ量データを有する前記スタートシンボル中の任意の一部に相当する前記N種類(Nは2以上の自然数)の参照信号と

の相互相関値を計算するステップと、
 前記相互相関手段により得られたN個の相互相関値のピーク位置における相互相関値から、周波数オフセット値を推定するステップと、
 前記推定された周波数オフセット値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償するステップと、
 からなることを特徴とするOFDM受信装置の周波数オフセット補償方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing: 直交周波数分割多重)信号を受信するOFDM受信装置に関し、より詳細には、サブキャリアの周波数オフセットを補償することが可能なOFDM受信装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、地上系デジタルテレビ放送や高速無線LANに用いられる伝送方式として、大容量のデータ伝送が可能なOFDM方式が注目されている。OFDM方式は、入力されるシンボル列を並列化した後、互いに直交関係にある複数のサブキャリア(副搬送波)を用いて、情報信号を送信するマルチキャリア伝送方式の一種である。

【0003】すなわち、OFDM信号は、変調器により互いに直交する周波数関係にある複数のサブキャリアに、直列並列変換された符号化データを割り当て、それぞれを逆フーリエ変換(周波数領域を時間領域に変換)することによってデジタル変調波に変換した後、並列直列変換を行うことで生成される。尚、復調器側では、上記変調器側の処理と逆の処理を行うことによって、元の符号化データを再生することができる。

【0004】OFDM変調されたOFDM信号は、図43(b)に示すようなスペクトルを有しており、図43(a)に示すようなスペクトルを有する単一搬送波による変調(シングルキャリア変調)方式と比較して、伝送路の周波数特性の変動に対しサブキャリアの帯域幅が小さい場合、伝送路の周波数特性による周波数選択性フェージングが信号品質に与える影響を小さくすることができるという特徴の他に、周波数利用効率が良いという利点も有する。

【0005】一方、OFDM方式は、伝送信号の周波数帯域が移動するドップラー現象が発生したり、受信装置の同調器が不安定化した場合、送信周波数と受信周波数との同期化が行われなくなり、図44に示すように、周波数オフセット(本来のサブキャリア周波数からの周波数ずれ)が発生する。このような周波数オフセットは、受信信号の位相を変化させて、システムの復号能力を低下させる。

【0006】多重搬送波を用いるOFDM方式では、周

波数オフセットが発生する場合、各サブキャリア間の周波数直交性が崩れてしまい、この状態でOFDM信号をフーリエ変換器に入力した場合、フーリエ変換器出力に隣接するサブキャリアの信号が相互変調成分として現れ、元の符号化データを正しく再生するのを阻害し、再生データの品質が劣化するという問題が存在する。

【0007】特に、OFDMのサブキャリア数が増加するほど、各サブキャリアが決まった帯域内に稠密に分布して、小さい周波数オフセット値にも、隣接サブキャリア間の干渉が激しく発生する。従って、周波数オフセットの補償は、実際システムの具現時に考慮すべき最大の課題の一つとなっている。

【0008】従来より、このような周波数オフセットの検出・補償の技術に関して、例えば、鬼沢武、溝口匡人、熊谷智明、高梨斉、守倉正博“高速無線LAN用OFDM変調方式の同期系に関する検討”信学技報、TECHNICAL REPORT OF IEICE, DSP97-165, SAT97-122, RCS97-210 (1998-01), p137-142などにも見られるように、様々な提案がなされている。

【0009】従来技術の一例を、変調方式としてDQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) を用いるとともに、受信側では遅延検波を行うものについて、図45乃至図51とともに、以下に説明する。

【0010】まず、OFDM送信装置の構成について、図45を参照して説明する。尚、図45中において、太線は複素数信号（同相検波軸信号と直交検波軸信号とからなる信号）を、細線は実数信号をそれぞれ示している。

【0011】従来のOFDM送信装置は、図45に示すように、入力情報信号に対して直列並列変換を行う直列並列変換器1と、各サブキャリア毎の情報信号に対してQPSK等の変調を行う符号化変調器2と、符号化変調器2の出力信号を逆離散フーリエ変換する逆離散フーリエ変換器3と、逆離散フーリエ変換器3の出力信号を直列信号に変換する並列直列変換器4と、並列直列変換器4の出力信号の先頭にガード区間を付加してデータシンボルを生成するガード区間付加回路5とを備えている。

【0012】また、パケットの先頭に付加される既知のシンボルを構成するプリアンプル、スタートシンボルを保持するメモリ6と、プリアンプル、スタートシンボル、及びデータシンボルを切替用クロックに応じて切り替え出力する切替器7と、切替器7の出力における実成分、虚成分を1つの信号成分として出力するデジタル直交変調器8と、デジタル直交変調器8の出力をアナログデータに変換するD/A変換器9と、D/A変換器9からのアナログデータを周波数変換し、OFDM信号を送信する周波数変換器10とを備えている。

【0013】上記構成のOFDM送信装置によるOFDM

M信号の信号フォーマットは、図46に示すように、パケットの先頭に付加されたプリアンプル、スタートシンボルからなる既知のシンボルと、逆離散フーリエ変換後のデータにガード区間を付加したデータシンボルとから構成されている。

【0014】尚、データシンボルは、逆離散フーリエ変換器3の出力（有効シンボル区間）の後半部分の信号を、有効シンボル区間の前（ガード区間）に複写して付加することによって生成されている。このガード区間の付加により、ガード区間長 T_{gi} 以下の時間遅れで到達する遅延波に対して耐性を持たせることが可能となっている。

【0015】また、既知のシンボルのプリアンプルは、AGCのゲイン調整、シンボル同期などに用いられる信号である。さらに、スタートシンボルは、変調方式として差動符号化を行う場合に、その初期位相を決定するためのものであり、全サブキャリアを含む信号であり、スタートシンボル長は、データシンボルからガード区間を取り除いた有効シンボル区間長 T_w と等しいものである。

【0016】すなわち、周波数間隔 df のN本のサブキャリアを用いる場合には、スタートシンボル長 $T_w (= 1/df)$ 中で、信号振幅をN回サンプリングする必要がある。

【0017】次に、従来のOFDM受信装置の構成について、図47を参照して説明する。尚、図47中において、太線は複素数信号を、細線は実数信号をそれぞれ示している。

【0018】従来のOFDM受信装置は、図47に示すように、受信信号を所定の帯域に周波数変換する周波数変換器11と、周波数変換器11の出力をA/D変換するA/D変換器12と、A/D変換器12の出力を実成分、虚成分に分離するデジタル直交検波器13と、周波数オフセットの補償を行うとともに、シンボルタイミングの推定を行う周波数オフセット補償器14と、周波数オフセット推定器14からのシンボル位置推定値に基づいて、シンボルクロックを発生するシンボルクロック発生器15とを備えている。

【0019】また、シンボルクロック発生器15にて発生されたシンボルクロックに基づいて得られるガード区間除去用クロックに従って、デジタル直交検波器13の出力から、ガード区間を取り除くガード区間除去回路16と、ガード区間除去回路16の出力を直列並列変換する直列並列変換器17と、直列並列変換器17の出力を離散フーリエ変換する離散フーリエ変換器 (FFT) 18と、離散フーリエ変換器18の出力を復調する符号判定回路19と、符号判定回路19の出力を並列直列変換する並列直列変換器20とを備えている。

【0020】尚、上記構成において、デジタル直交検波器13は、図48に示すように、一定周波数を発振する

局部発振器21と、局部発振器21の出力信号の位相を $\pi/2$ ずらす $\pi/2$ 位相シフター22と、A/D変換器12の出力と局部発振器21の出力との乗算を行う乗算器23、24と、乗算器23、24の各々の出力から所望の複素数信号を取り出すフィルタ25、26とを備えている。

【0021】また、周波数オフセット補償器14は、図49に示すように、デジタル直交検波器13の出力信号を有効シンボル区間長 T_w 遅延する遅延器31と、遅延器31の出力とデジタル直交検波器13からの受信信号との相関値を計算する相互相関器32と、デジタル直交検波器13からの受信信号の自己相関値を計算する自己相関器33とを備えている。

【0022】また、相互相関器32の出力を自己相関器33の出力で除算することにより、受信信号レベルに拘わらず、自己相関値のピーク位置を検出するピーク検出器34と、ピーク検出器34の出力（自己相関値のピーク位置）から、シンボル位置の推定値を出力するシンボル同期位置推定器35とを備えている。

【0023】さらに、相互相関器32の出力とピーク検出器34の出力（自己相関値のピーク位置）とから、相互相関値の回転角を推定し、周波数オフセットの推定値を出力する回転角推定器36と、回転角推定器36からの周波数オフセットの推定値に基づいて、デジタル直交検波器13からの受信信号の位相を回転させることにより、周波数オフセットを補償した信号を出力する位相回転回路37とを備えている。

【0024】尚、上述の相関器32、33は、図50に示すように、遅延線41、タップ42、及び加算器43から構成されており、第2の入力信号から得られるタップ数を用いて、第1の入力信号を積分することにより、相関値計算を行うものである。

【0025】すなわち、相互相関器32は、第1の入力信号としてデジタル直交検波器13からの受信信号と、第2の入力信号としてデジタル直交検波器13からの受信信号を T_w 遅延させた信号とをそれぞれ入力し、タップ数 M にわたって積分することにより、相互相関値を得ることができる。

【0026】一方、自己相関器33は、第1及び第2の入力信号としてデジタル直交検波器13からの受信信号を入力し、タップ数 M にわたって積分することにより、自己相関値を得ることができる。ここで、タップ数 M はFFT18のポイント数（FFT回路構成に応じて決まるサブキャリアの数の最大値）と等しい値を用いる。

【0027】次に、周波数オフセット補償器14の動作について、図49とともに説明する。

【0028】ピーク検出器34にて、相互相関器32の出力を自己相関器33の出力で除算することにより、相互相関値のピーク位置を求め、このピーク検出器34の検出結果に基づき、シンボル同期位置推定器35よりシ

ンボル同期位置クロックを発生する。

【0029】このとき、図51に示すように、相関値は複素数で計算されるため、相互相関値のピーク位置から、相互相関値の実軸に対する回転角 $\Delta\theta$ を推定することが可能となる。この回転角 $\Delta\theta$ より、周波数オフセット値 Δf を、次式により推定することができる。

$$\Delta f = \Delta\theta / (2\pi T_w)$$

この周波数オフセット値 Δf に基づいて、位相回転回路37にてデジタル直交検波器13からの受信信号の周波数オフセットを補償することが可能となる。ここで、相互相関値の実軸に対する回転角 $\Delta\theta$ は、 $-\pi$ から π の間の値をとるので、 $-1/(2T_w)$ から $1/(2T_w)$ の範囲の周波数オフセットを補償することが可能である。

【0031】尚、上述した従来例においては、位相回転回路37を用いて受信信号の周波数オフセットを補償するものについて説明したが、位相回転回路37を用いることなく、回転角 $\Delta\theta$ より求められた周波数オフセット値 Δf を、図48に示すデジタル直交検波器13中の局部発振器21に入力し、発振周波数を可変制御することにより、受信信号の周波数オフセットを補償することもできる。

【0032】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来技術のような、受信信号の遅延信号を参照信号として用いた遅延自己相関方式では、周波数オフセットの検出・補償を行う場合、サブキャリアの周波数間隔で正規化を行った正規化周波数オフセットにおいて、 -0.5 から $+0.5$ の範囲の周波数オフセットしか検出・補償することができないという問題があった。

【0033】本発明は、上述したような点に鑑みてなされたものであり、周波数オフセット補償範囲を拡大することが可能なOFDM受信装置およびその周波数オフセット補償法を提供することを目的とする。

【0034】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記の課題を解決するために、次のような手段を採用した。

【0035】第1の手段は、データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置において、前記スタートシンボル中の任意の一部に相当する参照信号を N 種類（ N は2以上の自然数）保持するメモリ手段と、前記OFDM信号と前記 N 種類の参照信号との相互相関値を計算する相互相関手段と、前記相互相関手段により得られた N 個の相互相関値のピーク位置を検出するピーク位置検出手段と、前記 N 個のピーク位置における相互相関値から、周波数オフセット値を推定する周波数オフセット推定手段とを備え、前記周波数オフセット推定手段にて推定された周波数オフセット値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償することの特徴とする。

【0036】第2の手段は、第1の手段に記載のOFDM受信装置において、前記周波数オフセット推定手段は、前記N個のピーク位置における各相互相関値間の位相差を計算する位相回転角計算手段と、前記各参照信号の組に対して、ある特定の周波数オフセットが存在する状態における相互相関値の位相回転角に基づいた参照データを記憶する記憶手段と、前記位相回転角計算手段にて求められた相互相関値間の位相差を、前記参照データで除算する除算手段とを有することを特徴とする。

【0037】第3の手段は、データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置において、前記スタートシンボル中の任意の一部に相当する参照信号をN種類（Nは3以上の自然数）保持するメモリ手段と、前記OFDM信号と前記N種類の参照信号との相互相関値を計算する相互相関手段と、前記相互相関手段により得られたN個の相互相関値のピーク位置を検出するピーク位置検出手段と、前記N個のピーク位置における相互相関値から、推定された複数の周波数オフセット値を平均して出力する周波数オフセット推定手段とを備え、前記周波数オフセット推定手段にて平均化された周波数オフセット値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償することを特徴とする。

【0038】第4の手段は、データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置において、前記スタートシンボル中の任意の一部に相当する参照信号をN種類（Nは2以上の自然数）保持する第1のメモリ手段と、受信したOFDM信号または第2のメモリ手段に保持されている推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号と、前記N種類の参照信号との相互相関値を計算する相互相関手段と、前記相互相関手段により得られたN個の相互相関値のピーク位置における相互相関値から周波数オフセット値を推定する周波数オフセット推定手段と、前記周波数オフセット推定手段にて推定された周波数オフセット値に基づいて、受信したOFDM信号または推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号を位相回転して保持する前記第2のメモリ手段と、前記周波数オフセット推定手段にて推定された周波数オフセット値を加算する周波数オフセット推定値加算手段とを備え、周波数オフセットの推定を行う際、1組の参照信号（1組は2種類以上の参照信号からなる）を用いて、繰り返し周波数オフセットの推定・補償を行うことにより、周波数オフセット推定値を求め、この周波数オフセット推定値の加算値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償することを特徴とする。

【0039】第5の手段は、データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置において、前記スタートシン

ボル中の任意の一部に相当する参照信号をN種類（Nは3以上の自然数）保持する第1のメモリ手段と、受信したOFDM信号または第2のメモリ手段に保持されている推定された周波数オフセット推定値に基づいて位相回転されたOFDM信号と、前記N種類の参照信号との相互相関値を計算する相互相関手段と、前記相互相関手段により得られたN個の相互相関値のピーク位置における相互相関値から周波数オフセット値を推定する周波数オフセット推定手段と、前記周波数オフセット推定手段にて推定された周波数オフセット値に基づいて、受信したOFDM信号または推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号を位相回転して保持する前記第2のメモリ手段と、前記周波数オフセット推定手段にて推定された周波数オフセット値を加算する周波数オフセット推定値加算手段とを備え、周波数オフセットの推定を行う際、1組の参照信号（1組は3種類以上の参照信号からなる）を用いて、繰り返し周波数オフセットの推定・補償を行うことにより、周波数オフセット推定値を求め、この周波数オフセット推定値の加算値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償することを特徴とする。

【0040】第6の手段は、データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置において、前記スタートシンボル中の任意の一部に相当するN種類（Nは2以上の自然数）の参照信号、および参照信号の組（1組は2種類以上の参照信号からなる）に対して、ある特定の周波数オフセットが存在する状態における相互相関値の位相回転角に基づいた複数の参照データを保持する第1のメモリ手段と、受信したOFDM信号または第2のメモリ手段に保持されている推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号と、前記参照信号のうち既に周波数オフセットの推定に使用された参照データを除く最小の参照データに対応する参照信号の組との相互相関値を計算する相互相関手段と、前記相互相関手段により得られた相互相関値のピーク位置における相互相関値および参照信号の組に対応する前記参照データに基づいて周波数オフセット値を推定する周波数オフセット推定手段と、前記周波数オフセット推定手段にて推定された周波数オフセット値に基づいて、受信したOFDM信号または推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号を位相回転して保持する前記第2のメモリ手段と、前記周波数オフセット推定手段にて推定された周波数オフセット値を加算する周波数オフセット推定値加算手段とを備え、周波数オフセットの推定を行う際、参照データの異なる複数の参照信号の組を用いて、繰り返し周波数オフセットの推定・補償を行うことにより、周波数オフセット値を求め、この周波数オフセット推定値の加算値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償することを特徴とする。

【0041】第7の手段は、データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置において、前記スタートシンボル中の任意の一部に相当するN種類（Nは2以上の自然数）の参照信号を保持するとともに、それぞれの参照信号について、ある任意のC/Nに対して最適とされる参照信号幅データ、および前記各参照信号の組に対して、ある特定の周波数オフセットが存在する状態における相互相関値の位相回転角に基づいた参照データのテーブルを保持するメモリ手段と、受信されたOFDM信号のC/Nを検出するC/N検出手段と、前記OFDM信号と、前記検出されたC/Nに基づいて前記メモリ手段から選択された参照信号幅データおよび参照データに対応する前記N種類の参照信号との相互相関値を計算する相互相関手段と、前記相互相関手段により得られたN個の相互相関値のピーク位置における相互相関値から、周波数オフセット値を推定する周波数オフセット推定手段とを備え、前記周波数オフセット推定手段にて推定された周波数オフセット値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償することを特徴とする。

【0042】第8の手段は、第7の手段に記載のOFDM受信装置において、前記相互相関手段は、前記C/N検出手段が、相対的に小さなC/Nを検出した時は、前記OFDM信号と、前記メモリ手段から選択された所定の参照データおよび相対的に大きな前記参照信号幅データに対応する前記N種類の参照信号との相互相関値を計算する手段であることを特徴とする。

【0043】第9の手段は、第7の手段に記載のOFDM受信装置において、前記相互相関手段は、前記C/N検出手段が、相対的に小さなC/Nを検出した時は、前記OFDM信号と、前記メモリ手段から選択された所定の参照信号幅データおよび相対的に大きな前記参照データに対応する前記N種類の参照信号との相互相関値を計算する手段であることを特徴とする。

【0044】第10の手段は、第7の手段に記載のOFDM受信装置において、前記相互相関手段は、前記C/N検出手段が、相対的に小さなC/Nを検出した時は、前記OFDM信号と、前記メモリ手段から選択された相対的に大きな参照信号幅および相対的に大きな前記参照データに対応する前記N種類の参照信号との相互相関値を計算する手段であることを特徴とする。

【0045】第11の手段は、第1の手段乃至第10の手段のいずれか1つの手段に記載のOFDM受信装置において、前記周波数オフセット値に基づく、前記OFDM信号の周波数オフセットの補償は、前記OFDM受信装置に設けられる直交検波手段の局部発振器の周波数を制御することにより行うことを特徴とする。

【0046】第12の手段は、データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置の周波数オフセット補償方

法において、前記OFDM信号と前記スタートシンボル中の任意の一部に相当するN種類（Nは2以上の自然数）の参照信号との相互相関値を計算するステップと、得られたN個の相互相関値のピーク位置を検出するステップと、前記N個のピーク位置における相互相関値から、周波数オフセット値を推定するステップと、前記推定された周波数オフセット値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償するステップと、からなることを特徴とする。

【0047】第13の手段は、データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置の周波数オフセット補償方法において、受信したOFDM信号または保持されている推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号と、前記スタートシンボル中の任意の一部に相当するN種類（Nは2以上の自然数）の参照信号との相互相関値を計算するステップと、前記相互相関値計算により得られたN個の相互相関値のピーク位置における相互相関値から周波数オフセット値を推定するステップと、前記推定された周波数オフセット値に基づいて、受信したOFDM信号または推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号を位相回転して保持するステップと、前記推定された周波数オフセット値を加算するステップと、前記加算された周波数オフセット値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償するステップとからなることを特徴とする。

【0048】第14の手段は、データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置の周波数オフセット補償方法において、受信したOFDM信号または保持されている推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号と、前記参照信号のうち既に周波数オフセットの推定に使用された参照データを除く最小の参照データに対応する参照信号の組との相互相関値を計算するステップと、前記相互相関値計算により得られた相互相関値のピーク位置における相互相関値および参照信号の組に対応する参照データに基づいて周波数オフセット値を推定するステップと、前記推定された周波数オフセット値に基づいて、受信したOFDM信号または推定された周波数オフセット値に基づいて位相回転されたOFDM信号を位相回転して保持するステップと、前記推定された周波数オフセット値を加算するステップと、前記加算された周波数オフセット値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償するステップとからなることを特徴とする。

【0049】第15の手段は、データシンボルに先立ってスタートシンボルが付加されたOFDM信号を受信して復調するOFDM受信装置の周波数オフセット補償方法において、受信されたOFDM信号のC/Nを検出す

るステップと、前記OFDM信号と、前記検出されたC/Nに基づいて選択された参照信号幅データおよび参照信号間ずれ量データを有する前記スタートシンボル中の任意の一部に相当する前記N種類(Nは2以上の自然数)の参照信号との相互相関値を計算するステップと、前記相互相関手段により得られたN個の相互相関値のピーク位置における相互相関値から、周波数オフセット値を推定するステップと、前記推定された周波数オフセット値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償するステップと、からなることを特徴とする。

【0050】

【発明の実施の形態】以下、本発明のOFDM受信装置の第1実施形態を、図1乃至図6とともに説明する。なお、上記従来技術のものと同一部分については同一符号を付して、その説明は省略する。

【0051】本実施形態のOFDM受信装置は、図47とともに上述した従来例における周波数オフセット補償器14を改良したものであって、周波数オフセット補償器14の他は同様の構成である。

【0052】本実施形態のOFDM受信装置における周波数オフセット補償器の構成について、図1を参照して説明する。尚、図1中において、太線は複素数信号を、細線は実数信号をそれぞれ示している。

【0053】図1において、51はスタートシンボル中におけるN種類の任意部分(本実施形態では、N=2)に相当する信号を、各々参照信号として保持しているメモリ、52、53はデジタル直交検波器13の出力信号と、メモリ51に保持された2つの参照信号との間で相互相関値を計算する相互相関器、54は相互相関器52、53の各出力におけるピーク位置を検出するピーク検出器、55はピーク検出器54で検出された各ピーク位置における相互相関値より、位相回転角を計算して、周波数オフセット値を推定する周波数オフセット推定回路である。

【0054】尚、上記構成において、周波数オフセット推定回路55は、相互相関器52、53、ピーク検出器54で検出されたピーク位置の各相互相関値より、位相差を求める位相回転角計算回路56と、2つの参照信号の組に対応した参照データ(等価的な推定時間差) $2\pi TE$ を保持する記憶部57と、位相回転角計算回路56の出力を、記憶部57に保持された参照データ(等価的な推定時間差) $2\pi TE$ で除算する除算器58とを備えている。

【0055】ここで、予め特定の周波数オフセット Δf_{ref} が存在する状態において、相互相関値算出に用いる2つの参照信号の組に対し、相互相関値の位相回転角 $\Delta\theta_{ref}$ を算出することによって、参照信号波形及び参照信号位置に基づく値である、参照データ(参照信号の等価的な時間差)TEを、次式により求めることができる。

$$【0056】TE = \Delta\theta_{ref} / (2\pi\Delta f_{ref})$$

次に、上記構成の周波数オフセット補償器の動作を図2を用いて説明する。スタートシンボル中の一部分に相当する2つの参照信号は、図2に示すように、それぞれ幅widthを有しており、shiftだけタイミングがずれているものとする。

【0057】すなわち、第1の参照信号は、スタートシンボルの先頭から計算して、 $Ng_i + Nw - (shift + width) / 2$ から $Ng_i + Nw - (shift - width) / 2$ で表される区間のスタートシンボル、第2の参照信号は、スタートシンボルの先頭から計算して、 $Ng_i + Nw - (-shift + width) / 2$ から $Ng_i + Nw - (-shift - width) / 2$ で表される区間のスタートシンボルである。但し、 Ng_i 、 Nw は、時間 Tg_i 、 Tw 中に含まれるサンプル数とする。

【0058】そして、デジタル直交検波器13からの受信信号と、上記の2つの参照信号との相互相関値を計算し、各相互相関値から受信信号の位相回転角 $\Delta\theta$ を求める。この位相回転角 $\Delta\theta$ を記憶部57に保持された $2\pi TE$ で除算することにより、周波数オフセット推定値 $\Delta f = \Delta\theta / (2\pi TE)$ を推定することができる。

【0059】この周波数オフセット推定値 Δf に基づき、位相回転回路37にてデジタル直交検波器13からの受信信号の周波数オフセットを補償することが可能となる。ここで、2つの参照信号を用いた場合には、位相回転角の参照データ(等価的な推定時間差)TEにより、周波数オフセット値 Δf の推定範囲が異なり、図3に示すように、正規化周波数オフセットの推定範囲を、 $-Tw / (2TE)$ から $+Tw / (2TE)$ の間とすることができる。

【0060】すなわち、 $TE < Tw$ とすると、本実施形態のOFDM受信装置においては、上述した従来例に比べて、周波数オフセット補償範囲を拡大することが可能となることが理解される。

【0061】尚、図3においては、サンプリングクロック同期、シンボルタイミング同期が完全であり、有効シンボル区間長 Tw に含まれるサンプル数 Nw (FETのポイント数)が64、サブキャリア数Nが48とした場合についての、正規化周波数オフセット(横軸)対ビット誤り率特性(BER: Bit Error Rate)(縦軸)を示している。

【0062】また、参照信号の幅(サンプル数)widthを16とし、 TE / Tw を0.25、1.5(参照信号のずれ(サンプル数)shiftを16、96)とした場合について、2つの参照信号の組がスタートシンボル中で占める位置を、図4に示している。

【0063】ところで、位相回転角の誤差 $n\theta$ によって、周波数オフセット推定値は、 $\Delta f + n\theta = (\Delta\theta + n\theta) / (2\pi TE)$ となり、周波数オフセット推定誤

差 $n f$ が生じる。すなわち、TE 値が小さい場合には、位相回転角の誤差 $n \theta$ による影響（周波数オフセット推定値 Δf に対する周波数オフセット推定誤差 $n f$ ）が大きくなり、エラーフロアが発生することとなる。

【0064】従って、図5に示すように、雑音が少ない場合（例えば、CNR=35 dB）を例に取ると、ある周波数オフセット Δf が存在する場合、 $\Delta f = \Delta \theta / (2\pi TE)$ （但し、 $-\pi < \Delta \theta < \pi$ ）より、図9、図10に示すように、 $TE/Tw = 0.25$ としたときには、 $TE/Tw = 1.5$ としたときに比べ、回転角 $\Delta \theta$ が小さい値（ $TE/Tw = 1.5$ のときの $1/6$ ）となる。

【0065】ところで、 $\Delta \theta$ のとりうる範囲は、 $-\pi < \Delta \theta < \pi$ 、であるので、ある周波数オフセット Δf に対する回転角 $\Delta \theta$ が小さいほど（つまり TE/Tw が小さいほど）、推定可能な周波数オフセットの範囲は広くなる（ $TE/Tw = 1.5$ のときの6倍）。

【0066】このため、図5に示すように、雑音が少ない場合には、参照データ（等価的な推定時間差）TE 値を小さくすることによって、周波数オフセットの推定範囲をより広げる事が可能となることが理解できる。

【0067】その一方で、雑音が存在する場合は、雑音により相互相関値に誤差が生じ、その結果、図11、図12に示すように、回転角 $\Delta \theta$ にも誤差 $n \theta$ が生じた形で観測される。

【0068】このときの周波数オフセット推定値にも雑音による誤差 $n f$ が生じ、周波数オフセット推定値は、 $\Delta f + n f = (\Delta \theta + n \theta) / (2\pi TE)$ となる。従って、雑音の存在下においては、周波数オフセットの推定誤差 $n f$ は、TE を小さくした方が相対的に大きくなる（ $TE/Tw = 0.25$ のとき、 $TE/Tw = 1.5$ のときの6倍）。

【0069】よって、図6に示すように、 $TE/Tw = 0.25$ のときには周波数オフセットの推定誤差 $n f$ が大きいので、エラーフロアが発生するのに対し、 $TE/Tw = 1.5$ のときには周波数オフセットの推定誤差 $n f$ が比較的小さく抑えられるためエラーフロアは発生しない。

【0070】従って、参照データ（等価的な推定時間差）TE 値を大きくすることによって、周波数オフセットの推定誤差をより小さくすることが可能になることが理解できる。

【0071】このように、参照信号の等価的な時間差参照データ（等価的な推定時間差）TE の値、すなわち参照信号の選び方によって、周波数オフセット値の推定範囲及び精度を任意に設定することが可能である。

【0072】尚、本実施形態においては、データシンボルの前に付加する既知のシンボルとして、 $T_{gi} + Tw$ の長さを持つスタートシンボルを2つ連続させたものについて説明したが、スタートシンボル長及び連続するス

タートシンボルの数は、これに限られるものではなく、任意の長さ及び任意の数のスタートシンボルを付加することができる。

【0073】本実施形態では、2つの参照信号を1組として（ $N=2$ ）、周波数オフセットの推定を行うものについて説明したが、2個以上の参照信号を1組とし（ $N \geq 2$ ）、周波数オフセットの推定を行うことによって、雑音による周波数オフセット推定誤差を抑制することができる。

【0074】これについて、本発明のOFDM受信装置の第2実施形態を、図7及び図8とともに説明する。なお、上述した第1実施形態と同一部分については同一符号を付して、その説明は省略する。

【0075】本実施形態のOFDM受信装置は、図7に示すように、スタートシンボル中の任意の一部に相当する参照信号を3種類（ $N=3$ ）保持しているメモリ51と、デジタル直交検波器13の出力信号と、メモリ51に保持された3つの参照信号との間で相互相関値を計算する相互相関器52、53、61と、相互相関器52、53、61の各出力におけるピーク位置を検出するピーク検出器54とを備えている。

【0076】また、ピーク検出器54で検出された各ピーク位置における相互相関値より、周波数オフセット値を推定する周波数オフセット推定回路65は、第1及び第2の参照信号に対して求められた各相互相関値から受信信号の位相回転角を計算する位相回転角計算回路56と、該位相回転角計算回路56の出力を、記憶部57に保持された参照データ（等価的な推定時間差） $2\pi TE$ で除算する除算器58を有している。

【0077】さらに、周波数オフセット推定回路65は、第2及び第3の参照信号に対して求められた各相互相関値から受信信号の位相回転角を計算する位相回転角計算回路66と、該位相回転角計算回路66の出力を、記憶部67に保持された参照データ（等価的な推定時間差） $2\pi TE$ で除算する除算器68と、除算器58の出力と除算器68の出力との平均を求め、周波数オフセット推定値として出力する平均化回路69とを有している。

【0078】次に、この周波数オフセット補償器の動作を図8を用いて説明する。ここで、各参照信号の幅を w 、各参照信号同士のずれを $shift$ とする。この3種類の参照信号と受信信号との相互相関値を計算することによって、各相互相関値から受信信号の位相回転角を求め、この位相回転角同士を比較することにより、周波数オフセットの推定を行う。

【0079】ここでは、3個の参照信号を用いているため、3つの位相回転角（ピーク位置における相互相関値）が求まる。これに基づき、位相回転角計算回路56、66において、 $2 (= N-1)$ 個の位相回転角差をそれぞれ計算することができる。

【0080】そして、位相回転角計算回路56による位相回転角差を、記憶部57に保持されている第1及び第2の参照信号の組に対する参照データ（等価的な推定時間差） $2\pi TE1$ で除算するとともに、位相回転角計算回路66による位相回転角差を、記憶部67に保持されている第2及び第3の参照信号の組に対する参照データ（等価的な推定時間差） $2\pi TE2$ で除算する。これらの除算結果を平均化し、周波数オフセット推定値とすることによって、周波数オフセット値を推定する際に、雑音による推定誤差を抑えることが可能となる。

【0081】尚、本実施形態においても、第1実施形態と同様に、予めある周波数オフセットをスタートシンボルにかけたときの、各相互相関値の位相回転角から参照データ（参照信号の等価的な時間差） TE_n （ $n=1\sim N-1$ ）を計算する。これを用いて各周波数オフセット推定値 $\Delta f_n = \Delta\theta / (2\pi TE_n)$ （ $n=1\sim N-1$ ）を求め、次に、本発明のOFDM受信装置の第3実施形態を、図13乃至図20とともに説明する。なお、上述した第1実施形態と同一部分には同一符号を付して、その説明を省略する。

【0082】本実施形態の構成を説明する前に、繰り返し、周波数オフセットを推定することにより推定の精度がよくなる理由について説明する。

【0083】従来の周波数オフセット推定方法では、周波数オフセットが大きくなるにつれて周波数オフセット推定の精度は悪くなっていた。

【0084】図13に示すグラフは、周波数オフセット値と従来の周波数オフセット推定方法における周波数オフセット推定値の関係を表している。このグラフよれば、周波数オフセット値が大きくなるにつれて周波数オフセット推定誤差が大きくなっていることが分かる。この原因としては、周波数オフセット値を推定する際に受信信号中のスタートシンボルと参照信号の相互相関値を求め、その相互相関値の位相回転角により周波数オフセットを求めているが、周波数オフセットが大きいと相互相関値の振幅が小さくなり、雑音の影響を大きく受けやすくなることが考えられる。

【0085】図14は、相互相関値の振幅が小さくなると、相互相関値の振幅に対して雑音が大きくなるので、相互相関値の位相角の推定誤差が大きくなってしまふことを示してしている。

【0086】そこで、本実施形態では、繰り返し、周波数オフセット推定を行うことにより、周波数オフセット推定誤差を小さくしようとするものである。

【0087】本実施形態のOFDM受信装置の周波数オフセット補償器は、図15に示すように、参照信号を保持するメモリ101、102と、周波数オフセットを計算する時間だけ受信信号を保持するメモリ103と、位相回転回路108からの出力を保存するメモリ104と、デジタル直交検波器13の出力もしくはメモリ10

4の受信スタートシンボルと、メモリ101、102中の参照信号との間で相互相関値を計算する相互相関器105、106と、相互相関器出力よりピーク位置を検出しシンボル同期位置を推定するピーク検出器114と、相互相関器105、106の出力より位相回転角を計算し周波数オフセット値を推定する周波数オフセット計算器107と、メモリ103もしくはメモリ104からの出力を周波数オフセット計算器107からの出力に基づき位相回転を行った後メモリ104に出力する位相回転回路108と、直交検波器出力を周波数オフセットを補償する時間だけ遅延させる遅延器109と、周波数オフセット計算器107からの出力に基づき遅延器109中の信号の位相を回転させる位相回転回路110と、デジタル直交検波器出力とメモリ104からの出力の切り替えを行い、相互相関器105、106に出力する切替器111と、メモリ103とメモリ104の切り替えを行い位相回転回路108に出力する切替器112と、メモリ104中の信号を相互相関器105、106と位相回転回路108に出力を切り替える切替器113からなる。

【0088】この周波数オフセット補償器の動作について、図16乃至図18に示すブロック図を参照しながら説明する。

【0089】最初、図16に示すように、切替器111はデジタル直交検波器13側、切替器112はメモリ103側、切替器113は切替器111側に接続する。デジタル直交検波器13からの信号は相互相関器105、106でメモリ101、102中に保持されている参照信号との間で相互相関を取られ、それぞれの相互相関器から相互相関値が周波数オフセット計算器107に渡される。また、デジタル直交検波器13からの信号は同時にメモリ103中に保持される。周波数オフセット計算器107では相互相関値に基づいて周波数オフセット推定値を計算する。周波数オフセット推定値に従い位相回転回路110で遅延器109からの出力の位相を回転させる。遅延器109は、周波数オフセット推定値を計算している間、直交検波器出力を保持しておき、周波数オフセット推定が完了してから位相回転回路110に出力し、受信データの最初から周波数オフセットを補償する。位相回転回路108では周波数オフセット値に基づいてメモリ103中の信号の位相を回転させ、その結果をメモリ104に保持する。

【0090】次に、図17に示すように、切替器111を切替器113側に、切替器112を切替器113側に接続する。相互相関器105、106では、メモリ104中の信号とメモリ101、102中の参照信号の間で相互相関値を計算し、その相互相関値に基づき周波数オフセット計算器107では周波数オフセット推定値を計算し位相回転回路108、110に出力する。次いで、図18に示すように、切替器113を切替器112

側に接続する。位相回転回路108は周波数オフセット推定値に基づき、メモリ104中の信号の位相を回転させ、メモリ104に保持する。また、再び切替器113を切替器111側に接続する。以降は、メモリ104中の信号と参照信号の相互相関を取り、周波数オフセットを推定し、発振周波数を制御し、位相を回転させた信号をメモリ104に保持するという動作を繰り返す。

【0091】さらに、この周波数オフセット補償器における処理手順を図19に示すフローチャートを用いて説明する。

【0092】ここでは周波数オフセットの推定をN回行うものとする。周波数オフセット推定器では、受信信号と参照信号の相互相関値をピーク検出器114で監視することによりスタートシンボル位置およびシンボル位置の推定を行う。ステップ1において、切替器111をデジタル直交検波器13側に、切替器112をメモリ103側に接続し、ステップ2では相互相関器105、106において受信信号と参照信号との間で相互相関値を求める。ステップ3において、相互相関値のピーク位置を検出したか否かを判定し、ピーク位置を検出しない場合は、ステップ2の処理を繰り返す、ピーク位置を検出した場合は、ステップ4において、相互相関値から周波数オフセット推定値（オフセット値#1）を求める。ステップ5では、メモリ103に記憶されている直交検波器からの信号を位相回転回路108に入力し、ステップ6において、位相回転回路108において、メモリ103からの入力信号と位相回転回路入力値（オフセット値#1）に従って回転する。次に、ステップ7において、その結果をメモリ104に記憶する。

【0093】次に、ステップ8において、切替器111を切替器113側に、切替器112をメモリ103側に接続し、ステップ9からステップ16間でメモリ中に保持するN-1回の処理を行う。ステップ10では、相互相関器105、106で、メモリ104に記憶されている信号と参照信号間で相互相関を取り、ステップ11で、周波数オフセット計算器107で周波数オフセット推定値（オフセット値#n）を求める。次いで、ステップ12において、切替器113を切替器112側に接続し、ステップ13において、メモリ104に記憶されている信号を位相回転回路入力値（オフセット値#n）に従って回転する。ステップ14で再び、位相回転回路入力値に従って回転された信号をメモリ104に記憶する。

【0094】次いで、ステップ15において、切替器113を切替器111側に接続し、再びステップ10からの処理を所定回数繰り返す。その後、ステップ17において、オフセット値#1～#Nを加算し、ステップ18で、この加算値に従って遅延器109からの出力信号の位相を回転する。

【0095】図20は、参照信号の幅をwidth=1

6、2つの参照信号のずれをshift=8としたときの、本実施形態の周波数オフセット補償器から得られる正規化周波数オフセットとビット誤り率の関係を示すグラフである。この図に示すように、1回目に、受信信号中のスタートシンボルと参照信号との間で相互相関を取り周波数オフセット推定値を求め、その値により周波数オフセットを補償する。2回目として、周波数オフセット補償後のスタートシンボルと参照信号の間で周波数オフセット推定を行い、このとき求められる相互相関値は、1回目に受信信号中のスタートシンボルと参照信号との間で求めた相互相関値よりも振幅が大きく位相角も小さくなっているため、2回目の推定で実際の周波数オフセット値により近い周波数オフセット推定値が求まっている。さらに、3回目として2回目と同様の処理を繰り返すことにより推定回数を増やすにつれて、より大きな周波数オフセットを補償できることが分かる。

【0096】上記の第3実施形態では、2つの参照信号を1組として（N=2）、周波数オフセットの推定を行うものについて説明したが、2個以上の参照信号を1組とし（N≧2）、周波数オフセットの推定を行うことによって、さらに雑音による周波数オフセット推定誤差を抑制することができる。

【0097】これについて、本発明のOFDM受信装置の第4実施形態を図21とともに説明する。なお、第3実施形態と同一部分については同一符号を付して、その説明は省略する。

【0098】本実施形態に係る周波数オフセット補償器は、図21に示すように、スタートシンボル中の任意の一部に相当する参照信号を3種類（N=3）保持しているメモリ105、106、115と、デジタル直交検波器13の出力信号とメモリ105、106、115に保持された3つの参照信号との間で相互相関値を計算する相互相関器105、106、116を備えている。

【0099】このように、本実施形態の発明によれば、3個の相互相関器105、106、116により位相回転角を計算し、周波数オフセット計算器107において2個の周波数オフセット値を推定し、その平均値を周波数オフセット推定として用いるので、周波数オフセット値を推定する際に、雑音による推定誤差を抑えることが可能となる。

【0100】次に、本発明のOFDM受信装置の第5実施形態を図22乃至図24とともに説明する。なお、第1実施形態と同一部分には同一符号を付して、説明を省略する。

【0101】本実施形態の構成を説明する前に、本実施形態による周波数オフセット推定方法の推定精度がよくなる理由について説明する。

【0102】先にも述べたように、一対の相互相関値から周波数オフセット推定値を求めることができるが、周波数オフセット推定値導出式 $\Delta f = \Delta \theta / (2\pi TE)$

より、参照データ（等価的な推定時間差）TEの値を小さくとるほど広範囲に周波数オフセットの推定を行うことができ、逆に参照データ（等価的な推定時間差）TEの値を大きくとるほど周波数オフセットの推定範囲が狭くなることが分かる。

【0103】しかし、受信信号に雑音が付加された場合を考えると、求められる位相回転角 $\Delta\theta$ には雑音の影響で誤差 $n\theta$ が含まれることになる。この誤差 $n\theta$ より、雑音が付加された場合の周波数オフセット推定値は、 $\Delta f + n f = (\Delta\theta + n\theta) / (2\pi TE)$ で表され、周波数オフセット推定値は参照データ（等価的な推定時間差）TEの値が小さいほど雑音による誤差 $n\theta$ の影響が大きくなり、参照データ（等価的な推定時間差）TEの値が大きいくほど雑音による誤差 $n\theta$ の影響が小さくなることが分かる。

【0104】従って、参照データ（等価的な推定時間差）TEの値を小さくした場合には、広範囲に周波数オフセットの推定を行えるが、雑音による周波数オフセット推定誤差 $n f$ が大きくなることが理解される。

【0105】このことから、本実施形態では、広範囲の周波数オフセットを高精度に補償するために、まず参照データ（等価的な推定時間差）TEの値を小さくとることにより広範囲にわたって周波数オフセット推定値を求め、周波数オフセット補償を行ない、次に参照データ（等価的な推定時間差）TEの値を大きくとることによって、はじめに行なった周波数オフセット補償の誤差が小さくなるように周波数オフセットの推定・補償を行なう。

【0106】このようにして異なる参照データ（等価的な推定時間差）TEを持つ参照信号の組（2つの参照信号）を用いて、参照データ（等価的な推定時間差）TEの小さな参照信号の組みから順に周波数オフセットの推定・補償を行い、その都度得られた周波数オフセット推定値を加算して求められた周波数オフセット推定値を位相回転回路に入力し、直交検波出力の位相回転を行うことにより、広範囲かつ雑音に対してロバストな周波数オフセット推定を行なうことを可能とするものである。

【0107】本実施形態に係る周波数オフセット推定器は、図22に示すように、受信スタートシンボルの始まり位置から参照信号の終わり位置までの長さであるLengthの値と複数の参照信号とこれらの参照信号の組みに対応する参照データ（等価的な推定時間差）TEの値とを保持するメモリ211と、受信スタートシンボルを保持するためのメモリ212と、デジタル直交検波器13の出力とメモリ212の出力を切り替えて出力することのできる切替器203と、切替器203の出力とメモリ211の参照信号の値との相互相関値を計算する相互相関器204、205と、相互相関器204、205の出力から相関のピークを検出し、シンボル位置推定値を出力するピーク検出器209と、相互相関器204、

205の出力とピーク検出器209の出力とメモリ211の参照データ（等価的な推定時間差）TEの値を用いて周波数オフセットを計算する周波数オフセット計算器206と、周波数オフセット計算器203の出力からメモリ212に保持されている受信スタートシンボルの位相を回転させる位相回転回路207と、周波数オフセット計算器206の出力を加算して出力する周波数オフセット推定値加算器214と、受信信号を周波数オフセット推定値加算器214の計算が終了するまで遅延させる遅延器213と、周波数オフセット推定値加算器214の出力により遅延器213の出力を位相回転させる位相回転回路208と、ピーク検出器209からの信号の出力を制御するスイッチ210と、スイッチ210から出力されるピーク値とLengthの値をもとにデータシンボルの位置を推定するシンボル同期位置推定器201と、スイッチ210から出力されるピーク値とLengthの値を基にスタートシンボル区間の信号をメモリ212に書き込むスタートシンボル抽出器202からなる。

【0108】メモリ211には、図23に示すように、一对の参照信号Ref(n, 1), Ref(n, 2)と、各参照信号の「位相回転角の等価的な推定位置」間の距離をTE(n)としたものを一組としてN組(Nは非負整数)保持し、スタートシンボルの始まりからRef(n, 1)の終わりまでの距離をLengthとして保持している。ここで、参照信号Ref(n, 1), Ref(n, 2)はスタートシンボル内に収まっており、その長さは等しく一定としている。

【0109】また、メモリ212に対する読み書きは、まずスタートシンボル抽出器202がスタートシンボルを書き込み始める。相互相関器204のピーク出力があったのち、相互相関器205のピーク出力があると周波数オフセット計算器206が周波数オフセットの推定を行ない、位相回転回路207によってメモリ212の内容が書き換え始められるが、スタートシンボル抽出器202の書き込みを追い抜いて書き換えることがないものとする。1回目の位相回転が終了するとスタートシンボル抽出器202からの書き込みは次のバケットのスタートシンボルが到達するまで行なわれないので、2回目以降はメモリ212に対して書き込みを行なうものは位相回転回路207のみとなり、切替器203には位相回転回路207によって書き換えられたデータが出力される。なお、ピーク検出器209の動作については、閾値を設定して、その閾値を越えた時点でピークと判定するものとする。

【0110】次に、この周波数オフセット推定器の動作について、図22を参照しながら説明する。

【0111】ここで、メモリ211は、3対の2つの参照信号Ref(n, 1), Ref(n, 2)間の参照データ（等価的な推定時間差）TE(n)を保持するもの

とし、対応する $TE(n)$ ($n=1, 2, 3$)の値はそれぞれ $TE(1)=TW/50$, $TE(2)=TW/8$, $TE(3)=TW/2$ であり $Length=20$ であるとする。

【0112】まず、デジタル直交検波器13からの信号がスタートシンボル抽出器202及び相互相関器204, 205に入力される。相互相関器204, 205では入力された信号と、メモリ211に保持されている一対の参照信号 $Ref(1, 1)$, $Ref(1, 2)$ との相関値を求め、ピーク検出器209にて相互相関のピークを検出し、それぞれのピークにおける相互相関値とメモリ211に保持されている $TE(1)$ の値を用いて周波数オフセット計算器206にて周波数オフセット値#1を推定する。さらに、ピーク検出器209出力はスイッチ210を介してシンボル同期位置推定器201に入り、その出力は、図13に示すシンボルクロック発生器15に出力される。また、ピーク検出器209の出力はスイッチ210を介してスタートシンボル抽出器202に入力されメモリ212に対してスタートシンボルを記憶させる。スイッチ210は相互相関器204のピーク検出が行なわれた後に切る。ここで、条件のように受信信号に雑音が付加されている場合は推定されるオフセットに誤差が含まれるため、正確なオフセット推定がなされない。このオフセット推定値#1を用いてメモリ212に保持されているスタートシンボルを位相回転回路207で位相回転させる。またオフセット値#1を周波数オフセット推定値加算器214に出力する。次に切替器203を切り替えて、メモリ212の信号を相互相関器204, 205に入力する。相互相関器204, 205では入力された信号と、メモリ211に保持されている一対の参照信号 $Ref(2, 1)$, $Ref(2, 2)$ との相関値を求め、ピーク検出器209にて相互相関のピークを検出し、それぞれのピークにおける相互相関値とメモリ211に保持されている $TE(2)$ の値を用いて周波数オフセット計算器206にて周波数オフセット推定値#2を求める。またオフセット推定値#2を周波数オフセット推定値加算器214に出力する。ここでも推定されるオフセットには誤差が含まれるが最初の推定時よりも小さい。このオフセット推定値#2を用いてメモリ212に保持されているスタートシンボルを位相回転回路207で位相回転させる。そして最後にもう一度メモリの信号を相互相関器204, 205に入力する。相互相関器204, 205では入力された信号と、メモリ211に保持されている一対の参照信号 $Ref(3, 1)$, $Ref(3, 2)$ との相関値を求め、ピーク検出器209にて相互相関のピークを検出し、それぞれのピークにおける相互相関値とメモリ211に保持されている $TE(3)$ の値を用いて周波数オフセット計算器206にて周波数オフセット値#3を推定する。そしてオフセット値#3を周波数オフセット推定値加算器25に出

力する。ここでも推定されるオフセットには誤差は含まれているが先ほどの推定時よりも小さい。このようにして計算されたオフセット推定値#1, #2, #3を加算したものが最終的な周波数オフセット推定値であり、周波数オフセット推定値加算器25より位相回転回路208に送る。位相回転回路208では周波数オフセット推定値加算器214から出力された周波数オフセット推定値をもとに、遅延器213から出力される受信信号の位相回転を行なって周波数オフセットを補償する。

【0113】さらに、この周波数オフセット推定器における処理手順を図24に示すフローチャートを用いて説明する。

【0114】はじめに、ステップ21において、 $n=1$ にセットし、ステップ22において $n=1$ か否かを判定し、 $n=1$ の場合は、ステップ23において、切替器203の出力をデジタル直交検波器13からの入力とし、 $n \neq 1$ の場合は、ステップ24において、切替器203の出力をメモリ212側に切替える。ステップ25では、切替器203の出力とメモリ211の参照信号 $Ref(n, 1)$ との相互相関を求める。ステップ26では相互相関のピーク位置を判定し、判定されない場合は、ステップ25からの処理を繰り返す。ピーク位置が判定された場合は、ステップ27に移行し、スイッチ210を切り、ステップ28において、切替器203の出力とメモリ211の参照信号 $Ref(n, 2)$ との相互相関を求める。ステップ29において、前記と同様にピーク位置を判定し、判定された場合は、ステップ30において、各相互相関値およびメモリ211の $TE(n)$ より周波数オフセット(オフセット推定値 n)を推定する。次いで、ステップ31で、 n が所定回数 N まで周波数オフセット推定処理を行ったか否かを判定し、行っていない場合は、ステップ32で、メモリ212中の信号を位相回転入力値(オフセット推定値 n)に従って回転させ、 n をカウントアップしてステップ22からの処理を繰り返す。すなわち、メモリ212中の信号と、受信信号との相互相関に用いたものとは別の対の参照信号 $Ref(n, 1)$, $Ref(n, 2)$ との間で相互相関値を計算し、メモリ211中の $TE(n)$ ($TE(1) < TE(2) < \dots < TE(N)$)の値を用いて同様に周波数オフセット推定値 n を求め、推定値 n に基づいてメモリ212中の受信スタートシンボルに位相回転を行なう作業を $N-1$ 回行なう($n=2, 3, \dots, N$)。また、ステップ31において、 $n=N$ の場合は、ステップ34において、これまでの処理で算出されたオフセット推定値#1~# n を周波数オフセット推定値加算器214で加算して位相回転回路208に出力する。

【0115】このように、本実施形態の発明によれば、必要な回数参照データ(等価的な推定時間差) TE の値を大きくとっていき、周波数オフセット推定値を求め、補正を行ない、その都度得られた周波数オフセット推定

値を加算して求められた周波数オフセット推定値により周波数オフセット補償するので、周波数オフセット補償を高精度に行うことができる。

【0116】次に、本発明のOFDM受信装置の第6実施形態を図25を用いて説明する。

【0117】第5実施形態では、メモリ211内には、図23に示すように、一対の参照信号 $Ref(n, 1)$ 、 $Ref(n, 2)$ を用意したが、本実施形態では、図25に示すように、一対の参照信号 $Ref(1)$ 、 $Ref(n, 2)$ と、各参照信号の「位相回転角の等価的な推定位置」間の距離を $TE(n)$ としたものを一組として N 組(N は非負整数)保持し、スタートシンボルの始まりから $Ref(1)$ の終わりまでの距離を $Length$ として保持するようにする。ここで $Ref(1)$ 、 $Ref(n, 2)$ はスタートシンボル内に収まっており、その長さは等しく一定とする。

【0118】本実施形態の発明によれば、参照信号の片方に $Ref(1)$ のみを用いることにより、メモリの使用量を減らすことができる。

【0119】次に、本発明のOFDM受信装置の第7実施形態を図26乃至図28を用いて説明する。

【0120】第5乃至第6実施形態では、図22に示したように、周波数オフセット推定器では、周波数オフセット推定値加算器214で加算して出力された周波数オフセット推定値は位相回転回路208に出力して周波数オフセットを補償したが、本実施形態では、推定して加算された周波数オフセット推定値を図47に示すデジタル直交検波器13の局部発振器に入力して発振周波数を可変制御することにより受信信号の周波数オフセットを補償しようとするものである。

【0121】図26は本実施形態に係る周波数オフセット補償直交検波部の構成を示すブロック図、図27は図26に示す周波数オフセット推定器218の構成を示すブロック図、図28は図26に示すデジタル直交検波器217の構成を示すブロック図である。なお、図28に示す周波数オフセット推定器218の構成およびその動作は図22に示す周波数オフセット推定器と略同一であるので説明を省略する。

【0122】周波数オフセット補償直交検波部は、図26に示すように、図47に示すA/D変換器12の出力を一定時間遅延させる遅延器215と、遅延器215とA/D変換器12を選択して出力する切替器216と、図28に示すように発振周波数を制御することができ、また切替器216の出力を実成分、虚成分に分離するデジタル直交検波器217と、デジタル直交検波器217の出力の周波数オフセット値を推定する周波数オフセット推定器218から構成される。

【0123】周波数オフセット補償直交検波部の動作について説明すると、はじめに、A/D変換器12からの出力が、遅延器215と切替器216に送られる。切替

器216ではまずA/D変換器12からの出力をデジタル直交検波器217に出力し、デジタル直交検波器217にて実成分と虚成分に分解され、周波数オフセット推定器218に入る。周波数オフセット推定器218では、周波数オフセット推定値は、第5実施形態と同様に、周波数オフセット推定値加算器214から出力されるが、その後その周波数オフセット推定値はデジタル直交検波器217に送られ、図28に示すように、切替器216から出力される遅延器215からの出力の直交検波で用いる局部発振器21の周波数を調節する。デジタル直交検波器217からは周波数オフセット補償済みの信号が出力される。

【0124】なお、本実施形態も、メモリ211内の参照信号を第6実施形態のものと同じように構成することにより、メモリを節約することができる。

【0125】次に、本発明のOFDM受信装置の第8実施形態を図29乃至図41を用いて説明する。

【0126】本実施形態に係る周波数オフセット推定器300は、図29に示すように、デジタル直交検波器301から受信信号を入力して周波数オフセットを推定し、その推定値をデジタル直交検波器301に出力する。なお、デジタル直交検波器301の構成は図28に示すものと同様であり、また、その他の構成は図13に示すものと同様であるので、説明を省略する。

【0127】周波数オフセット推定器300は、図30に示すように、 C/N に対する参照信号最適データテーブルを保持しているメモリ302と、受信信号の C/N から、メモリ302の情報より最適参照信号を選定し、その選定データでメモリ304に命令を出す参照信号調節器303と、参照信号を保持しており参照信号調節器303の命令により参照信号を排出するメモリ304と、デジタル直交検波器301出力と、メモリ304からの参照信号との間で相互相関値を計算する相互相関器305、306と、相互相関器出力よりピーク位置を検出しシンボル同期位置を推定するピーク検出器307と、相互相関器305、306の出力より位相回転角を計算し、周波数オフセット位置を推定する周波数オフセット計算器308からなる。

【0128】次に、この周波数オフセット推定器300の動作を図30を参照して説明する。

【0129】まず、参照信号調節器303は、受信信号の C/N に関する情報を得る。メモリ302には、ある基準に基づいて、 C/N に対する参照信号幅データおよび前記参照データ(等価的な推定時間差) TE のデータテーブルを保持しており、参照信号調節器303は、前記の C/N 情報より、前記テーブル内から参照信号幅データおよび前記参照データ(等価的な推定時間差) TE に対応する参照信号の組みを選択する。

【0130】次に、参照信号調節器303は、前記で選択した情報の参照信号を排出するようにメモリ304に

命令する。メモリ304には、スタートシンボルが保持されており、前記参照信号調節器303からの命令を満たすようにスタートシンボルの一部を参照信号として排出する。排出された参照信号と直交検波器出力とから相互相関器305、306で相互相関値が得られ、その相互相関値が周波数オフセット計算器308に入力され、そこで周波数オフセット推定値を求める。なお、周波数オフセット推定器301は、メモリ302の受信信号と参照信号の相互相関値をピーク検出器307で監視することによりスタートシンボル位置およびシンボル位置の推定を行い、相互相関値のピーク位置において、参照信号と相関検波器出力の相互相関値より周波数オフセット推定値を求める。

【0131】さらに、メモリ302に保持されているC/Nに対する参照信号の最適値データテーブルの例について図31乃至図41を参照して説明する。

【0132】ここで、前記参照データ（等価的な推定時間差）TEは、複数の参照信号の時間差shift（各参照信号の先頭同士の時間差）と単調増加の関係にあるため、shiftを増加させることにより、参照データ（等価的な推定時間差）TEを増加させることができる。従って、参照データ（等価的な推定時間差）TEの代わりに、shiftをパラメータとして取り扱うことも可能となる。なお、本来はパラメータとして、参照データ（等価的な推定時間差）TEを用いるべきであるが、以下では簡単化のためshiftをパラメータとして用いて説明する。

【0133】図31、32、33は、それぞれ比較的C/Nが小さい場合、中程度の場合、大きい場合における、それぞれの参照信号の幅widthを一定とし、参照信号間の時間差データshiftを変化させた場合の正規化周波数オフセット対ビット誤り率特性（以下BER特性とする。）を示すグラフである。

【0134】ここで、横軸は正規化周波数オフセットを、縦軸はBER特性を示す。またサンプリングクロック同期、シンボルタイミング同期は完全と仮定し、有効シンボル区間 $T_w = 64$ 、FFTのポイント数は64、サブキャリア数は48とし、変調方式は差動QPSK（Differential Quadrature Shift Keying: DQPSK）を用い、復調は遅延検波とする。また、これらの図に示す括弧内の数値はwidth, shiftである。

【0135】これらの図から明らかなように、C/Nの大小にかかわらずいずれの場合も、shiftを大きくすると周波数オフセット推定精度が向上していることが分かる。また、C/Nが低くなると所望のBER特性を得るためのshiftが大きくなることが分かる。

【0136】ここで、所望のBERを 1.0×10^{-3} とした場合に、受信信号のC/N < 23 dBの時、(width, shift) = (16, 96)、 $23 \text{ dB} \leq C/N$

N < 30 dBの時、(width, shift) = (16, 16)、 $30 \text{ dB} \leq C/N$ の時、(width, shift) = (16, 8)に設定し、その設定をC/Nに対する(width, shift)のテーブルとして、予めメモリ302に保持する。参照信号調節器303では、受信信号のC/Nに応じて前記テーブルを基に得られた(width, shift)に対する参照信号を選択し、メモリ304から排出し、相互相関器305、306において相互相関値計算を行うものとする。ただし、所望のBER特性を満たしているshiftの値が2つ以上存在する場合は、shiftが小さい方を選定する。小さい方を選定することにより、図34からわかるように、shiftが小さい方が演算完了時間を短くすることができる。

【0137】このようにして設定したC/Nに対する(width, shift)のデータテーブルをメモリに保持し、受信信号のC/Nに応じてテーブルから参照信号を選定していくことにより、所望の精度での周波数オフセット推定が可能となる。

【0138】次に、図35、36、37は、それぞれ比較的C/Nが小さい場合、中程度の場合、大きい場合における、それぞれの参照信号のshiftを一定とし、widthを変化させた場合の正規化周波数オフセット対ビット誤り率特性（以下BER特性とする。）を示すグラフである。

【0139】これらの図から明らかなように、widthを大きくすると周波数オフセット推定精度が向上していることが分かる。また、C/Nが低くなるとある所望のBERを得るためのwidthが大きくなっていることが分かる。

【0140】ここで、所望のBERに設定して、受信信号がC/N < 25 dBの時、(width, shift) = (32, 16)、 $25 \text{ dB} \leq C/N < 30 \text{ dB}$ の時、(width, shift) = (16, 16)、 $30 \text{ dB} \leq C/N$ の時、(width, shift) = (8, 16)と設定し、その設定をC/Nに対する(width, shift)のテーブルとして、予めメモリ302に保持するようにする。参照信号調節器303では、受信信号のC/Nに応じて前記テーブルを基に得られた(width, shift)に対応する参照信号を選択し、メモリ304から排出し、相互相関器305、306において相互相関値計算を行うものとする。ただし、所望のBER特性を満たしているwidthの値が2つ以上存在する場合は、その中で最も小さいものを選定する。小さい方を選定することにより、図38からわかるように、演算完了時間を短く、かつハードウェア規模を小さくすることができる。このようにして設定されたデータテーブルを保持し、受信信号のC/Nに応じて選定していくことにより所望の精度での周波数オフセット推定が可能となる。

【0141】次に、図39、40、41は、それぞれ比較的 C/N が小さい場合、中程度の場合、大きい場合における、それぞれの参照信号のshiftおよびwidthを変化させた場合の正規化周波数オフセット対ビット誤り率特性（以下BER特性とする。）を示すグラフである。

【0142】ここで、所望のBERに設定して、受信信号が $C/N < 23\text{ dB}$ の時、 $(\text{width}, \text{shift}) = (32, 16)$ 、 $23\text{ dB} \leq C/N < 30\text{ dB}$ の時、 $(\text{width}, \text{shift}) = (32, 8)$ 、 $30\text{ dB} < C/N$ の時、 $(\text{width}, \text{shift}) = (16, 8)$ と設定し、その設定を C/N に対する $(\text{width}, \text{shift})$ のテーブルとして、予めメモリ302に保持するようにする。参照信号調節器303では、受信信号の C/N に応じて前記テーブルを基に得られた $(\text{width}, \text{shift})$ に対応する参照信号を選択し、メモリ304から排出し、相互相関器305、306において相互相関値計算を行うものとする。ただし、所望のBER特性を満たしている $(\text{width}, \text{shift})$ の値が2つ以上存在する場合は、その中で最も演算完了時間を短くできるものを選定する。

【0143】このようにして設定されたデータテーブルを保持し、受信信号の C/N に応じて選定していくことにより所望の精度での周波数オフセット推定が可能となる。

【0144】次に、本発明のOFDM受信装置の第9実施形態を図42を用いて説明する。

【0145】図42は、図30に示す周波数オフセット推定器300における受信信号の C/N 情報の入手手段の一例を示すものであり、ここで、309は離散フーリエ変換器18からの各出力信号レベルを検出し、その検出レベルから受信信号の C/N を検出する C/N 検出器である。なお、その他の構成は図29に示すものと同様であるので、説明を省略する。

【0146】OFDM信号生成過程において、サブキャリア数 $<$ FFTサンプル数の関係にあり、図45に示す逆離散フーリエ変換器3において、情報データを割り当てないサブキャリアには振幅0を割り当てて、OFDM信号を生成する。一方、図42に示す受信器の離散フーリエ変換器18において、前記で生成されたOFDM信号を入力する。前記離散フーリエ変換器18の出力において、もし雑音がない場合には、振幅0を割り当てたサブキャリアの出力は振幅0であるが、雑音があると、振幅0を割り当てたサブキャリアの出力は、振幅が雑音レベルとなる。よって、振幅0を割り当てたサブキャリアの出力と情報データを割り当てたサブキャリアの出力から受信信号の C/N を検出することができる。この C/N 検出器309はこの原理により受信信号の C/N を検出し、その情報を周波数オフセット推定器300に得ることができる。

【0147】

【発明の効果】本願請求項1または請求項12に記載の発明は、スタートシンボル中の任意の一部に相当する参照信号を N 種類（ N は2以上の自然数）保持しておき、この N 種類の参照信号とOFDM信号との間で相互相関値を計算し、その相互相関値の位相差から周波数オフセット値の推定を行うので、 N 種類の参照信号とOFDM信号との相関検出のタイミングを任意に設定することができ、周波数オフセット補償範囲を拡大することが可能となる。

【0148】本願請求項2に記載の発明は、各参照信号の組に対して、ある特定の周波数オフセットが存在する状態における相互相関値の位相回転角に基づいた参照データ（等価的な推定時間差）TEを記憶手段に記憶しておき、これを用いて位相回転角手段の出力を除算することにより、任意の参照信号を用いた場合にも、周波数オフセット値を求めることが可能となる。

【0149】本願請求項3または請求項5に記載の発明は、推定された複数個の周波数オフセット値を平均して出力された周波数オフセット値に基づいて、OFDM信号の周波数オフセットを補償するので、雑音による推定誤差を抑えることができる。

【0150】本願請求項4または請求項13に記載の発明は、周波数オフセット値が推定される毎にその推定された周波数オフセット値に基づいてOFDM信号を位相回転し、位相回転されたOFDM信号と N 種類の参照信号との相互相関値を計算し、それに基づいて周波数オフセット値を推定して周波数オフセットを補償するので、推定回数を増やすにつれてより大きな周波数オフセットを補償できる。

【0151】本願請求項6または請求項14に記載の発明は、周波数オフセット値が推定される毎に、新たに求められた相互相関値と参照信号間の時間差データのうち既に周波数オフセットの推定に使用された時間差データを除く最小の時間差データに基づいて周波数オフセット値を推定し、加算された周波数オフセット推定値により周波数オフセットを補償するので、広範囲の周波数オフセットを高精度に補償できる。

【0152】本願請求項7乃至請求項10または請求項14に記載の発明は、 C/N 情報を検出し、OFDM信号と検出された C/N に基づいて最適な参照信号幅データおよび参照信号間ずれ量データを有する N 種類の参照信号との相互相関値を計算し、それに基づいて周波数オフセット値を推定して周波数オフセットを補償するので、所望の精度で迅速に周波数オフセットを補償できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット補償器を示すブロック図である。

【図2】本発明の第1実施形態に係るOFDM受信装置

の周波数オフセット補償器の動作を示す説明図である。

【図3】本発明の第1実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット補償器の正規化周波数オフセット対ビット誤り率特性を示す説明図である。

【図4】本発明の第1実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット補償器のスタートシンボルに対する参照信号の位置を示す説明図である。

【図5】本発明の第1実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット補償器の高CNR時で参照データ（等価的な推定時間差）TEが異なる参照信号を用いた場合の正規化周波数オフセット対ビット誤り率特性を示す説明図である。

【図6】本発明の第1実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット補償器の低CNR時で参照データ（等価的な推定時間差）TEが異なる参照信号を用いた場合の正規化周波数オフセット対ビット誤り率特性を示す説明図である。

【図7】本発明の第2実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット補償器を示すブロック図である。

【図8】本発明の第2実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット補償器の動作の説明図である。

【図9】OFDM受信装置の周波数オフセット補償器において、比較的雑音が小さく、TE/Twが小さい場合には、推定可能な周波数オフセットが大きくなることを示す説明図である。

【図10】OFDM受信装置の周波数オフセット補償器において、TE/Twが大きい場合には、推定可能な周波数オフセットが小さくなることを示す説明図である。

【図11】OFDM受信装置の周波数オフセット補償器において、TE/Twが小さい場合には、雑音により周波数オフセット推定誤差が大きくなることを示す説明図である。

【図12】OFDM受信装置の周波数オフセット補償器において、TE/Twが大きい場合には、雑音による周波数オフセット推定誤差が小さくなることを示す説明図である。

【図13】OFDM受信装置の周波数オフセット補償器において、周波数オフセット推定値と従来の周波数オフセット推定方法における周波数オフセット推定値との関係を示すグラフである。

【図14】OFDM受信装置の周波数オフセット補償器において、相互相関値の振幅が小さくなると、相互相関値の位相角の推定誤差が大きくなることを示す説明図である。

【図15】本発明の第3実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット補償器を示すブロック図である。

【図16】本発明の第3実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット補償器の動作を説明するためのブロック図である。

【図17】本発明の第3実施形態に係るOFDM受信装

置の周波数オフセット補償器の動作を説明するためのブロック図である。

【図18】本発明の第3実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット補償器の動作を説明するためのブロック図である。

【図19】本発明の第3実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット補償器における処理手順を示すフローチャートである。

【図20】本発明の第3実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット補償器から得られる正規化周波数オフセットとビット誤り率の関係を示すグラフである。

【図21】本発明の第4実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット補償器を示すブロック図である。

【図22】本発明の第5実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット推定器を示すブロック図である。

【図23】図22に示す周波数オフセット推定器のメモリ211に保持される参照信号間の関係を示す図である。

【図24】本発明の第5実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット推定器における処理手順を示すフローチャートである。

【図25】本発明の第6実施形態に係る周波数オフセット推定器のメモリ211に保持される参照信号間の関係を示す説明図である。

【図26】本発明の第7実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット補償直交検波部を示すブロック図である。

【図27】本発明の第7実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット推定器を示すブロック図である。

【図28】図26に示す周波数オフセット補償直交検波部のデジタル直交検波器を示すブロック図である。

【図29】本発明の第8実施形態に係るOFDM受信装置の周波数オフセット推定器とデジタル直交検波器との関係を示すブロック図である。

【図30】図29に示す周波数オフセット推定器を示すブロック図である。

【図31】比較的C/Nが小さい時の、参照信号の幅widthを一定とし、参照信号の時間差shiftを変化させた場合の、正規化周波数オフセット対ビット誤り率特性を示すグラフである。

【図32】比較的C/Nが中程度に大きい時の、参照信号の幅widthを一定とし、参照信号の時間差shiftを変化させた場合の、正規化周波数オフセット対ビット誤り率特性を示すグラフである。

【図33】比較的C/Nが大きい時の、参照信号の幅widthを一定とし、参照信号の時間差shiftを変化させた場合の、正規化周波数オフセット対ビット誤り率特性を示すグラフである。

【図34】参照信号の時間差shiftが小さい方が演算完了時間が短くなることを示す説明図である。

【図35】比較的 C/N が小さい時の、参照信号の時間差 $shift$ を一定とし、参照信号の幅 $width$ を変化させた場合の、正規化周波数オフセット対ビット誤り率特性を示すグラフである。

【図36】比較的 C/N が中程度に大きい時の、参照信号の時間差 $shift$ を一定とし、参照信号の幅 $width$ を変化させた場合の、正規化周波数オフセット対ビット誤り率特性を示すグラフである。

【図37】比較的 C/N が大きい時の、参照信号の時間差 $shift$ を一定とし、参照信号の幅 $width$ を変化させた場合の、正規化周波数オフセット対ビット誤り率特性を示すグラフである。

【図38】参照信号の $width$ が小さい参照信号の方が演算完了時間を短くなることを示す説明図である。

【図39】比較的 C/N が小さい時の、参照信号の時間差 $shift$ および参照信号の幅 $width$ を変化させた場合の、正規化周波数オフセット対ビット誤り率特性を示すグラフである。

【図40】比較的 C/N が中程度に大きい時の、参照信号の時間差 $shift$ および参照信号の幅 $width$ を変化させた場合の、正規化周波数オフセット対ビット誤り率特性を示すグラフである。

【図41】比較的 C/N が大きい時の、参照信号の時間差 $shift$ および参照信号の幅 $width$ を変化させた場合の、正規化周波数オフセット対ビット誤り率特性を示すグラフである。

【図42】本発明の第9実施形態に係るOFDM受信装置の受信信号の C/N 情報を入手する C/N 検出器を示す図である。

【図43】(a) シングルキャリア変調信号のスペクトルと、(b) OFDM信号のスペクトルとを示す説明図である。

【図44】OFDM信号における周波数オフセットの影響を示す説明図である。

【図45】従来技術に係るOFDM送信装置を示すブロック図である。

【図46】従来技術に係るOFDM送信装置のOFDM信号の packets 構成を示す説明図である。

【図47】従来技術に係るOFDM受信装置を示すブロック図である。

【図48】従来技術に係るOFDM受信装置におけるデジタル直交変換器の一例を示すブロック図である。

【図49】従来技術に係るOFDM受信装置における周波数オフセット補償器の一例を示すブロック図である。

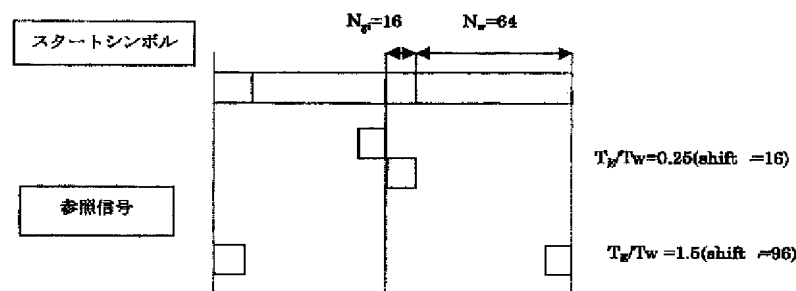
【図50】従来技術に係るOFDM受信装置における周波数オフセット補償器の関連器を示すブロック図である。

【図51】従来技術に係るOFDM受信装置における周波数オフセット補償器の動作を示す説明図である。

【符号の説明】

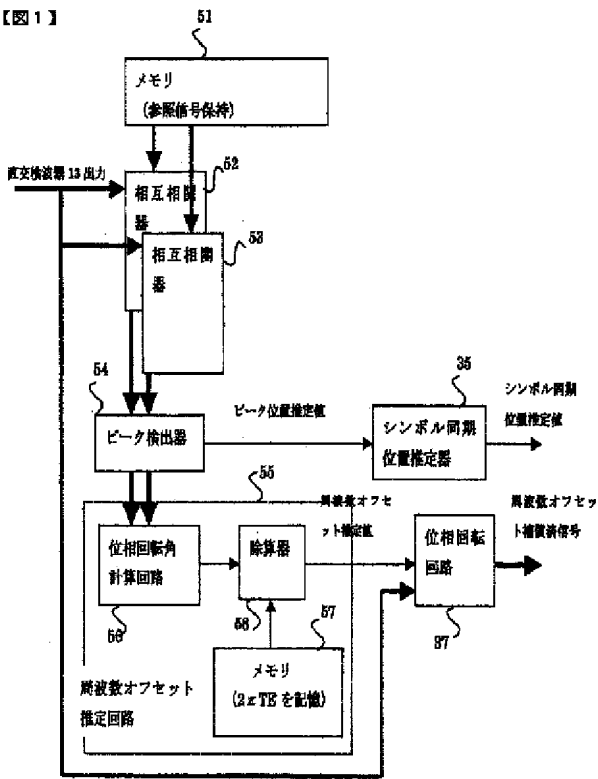
35 シンボル同期位置推定器
 37, 108, 110, 207, 208 位相回転回路
 51, 57, 67, 101, 102, 103, 104, 115, 211, 212, 302, 304 メモリ
 52, 53, 61, 105, 106, 116, 204, 205, 305, 306 相互相関器
 54, 114, 209, 307 ピーク検出器
 55, 65 周波数オフセット推定回路
 56, 66 位相回転角計算回路
 58, 68 除算器
 69 平均化回路
 107, 206, 308 周波数オフセット計算器
 109, 213, 215 遅延器
 111, 112, 113, 203, 216 切替器
 201 シンボル同期位置推定器
 202 スタートシンボル抽出器
 210 スイッチ
 214 周波数オフセット推定値加算器
 217, 302 デジタル直交変換器
 218, 301 周波数オフセット推定器
 303 参照信号調節器
 309 C/N 検出器

【図4】

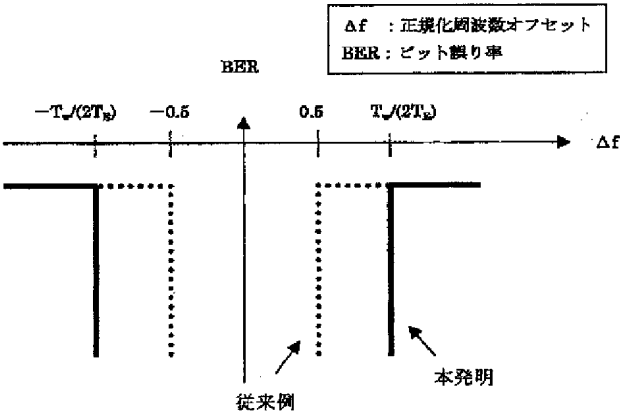


【図4】

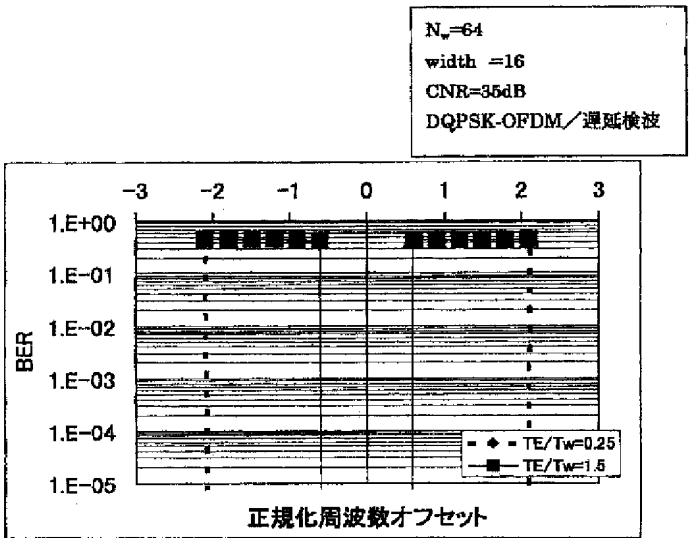
【図1】



【図3】



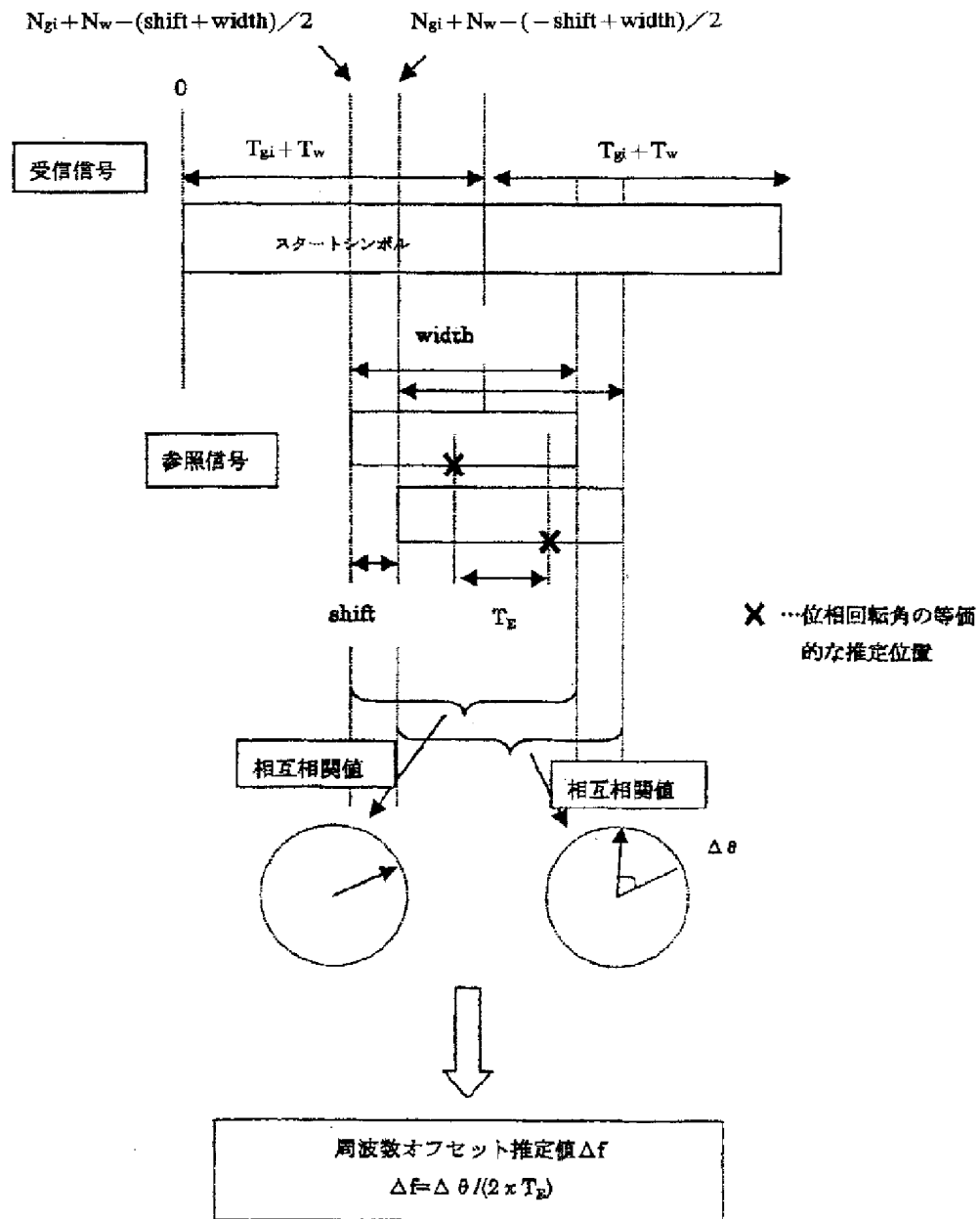
【図5】



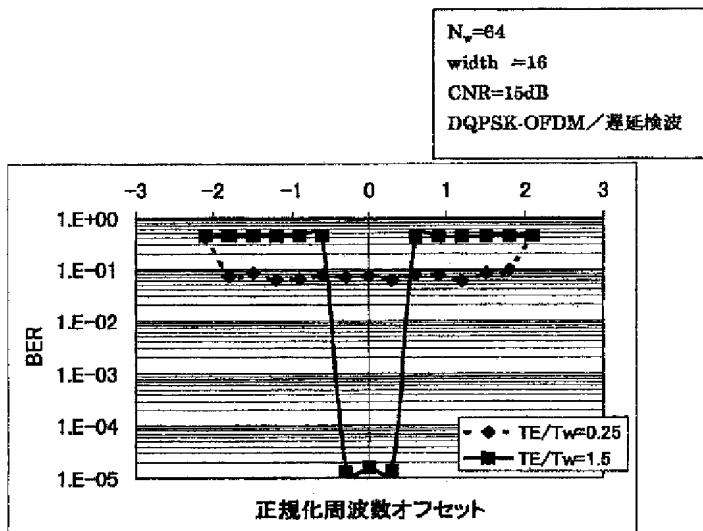
【図5】

【図2】

【図2】

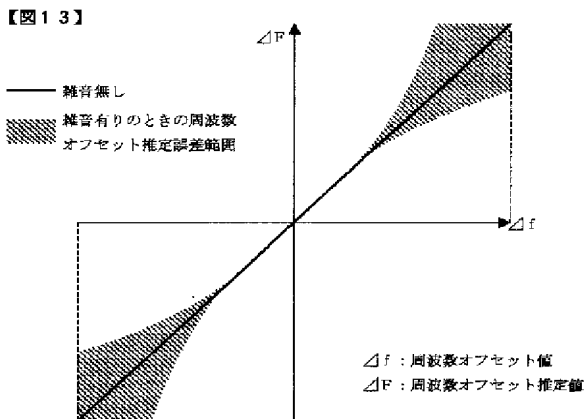
 N_{gi}, N_w : T_{gi}, T_w に含まれるサンプル数

【図6】

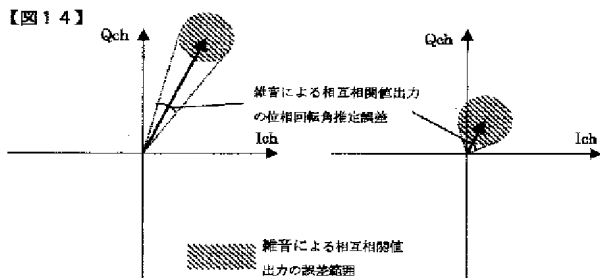


【図7】

【図13】



【図14】

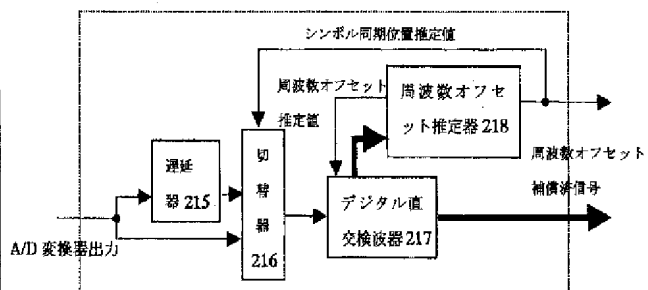
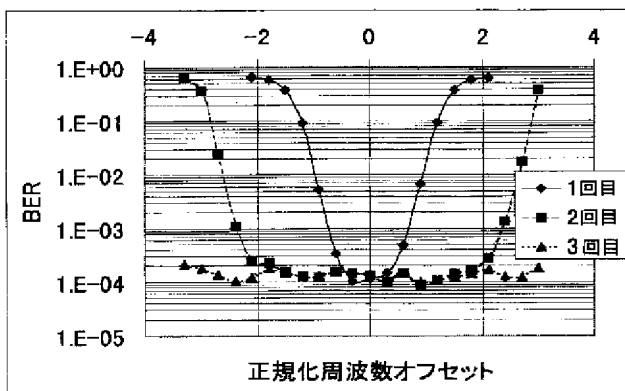


【図26】

【図26】

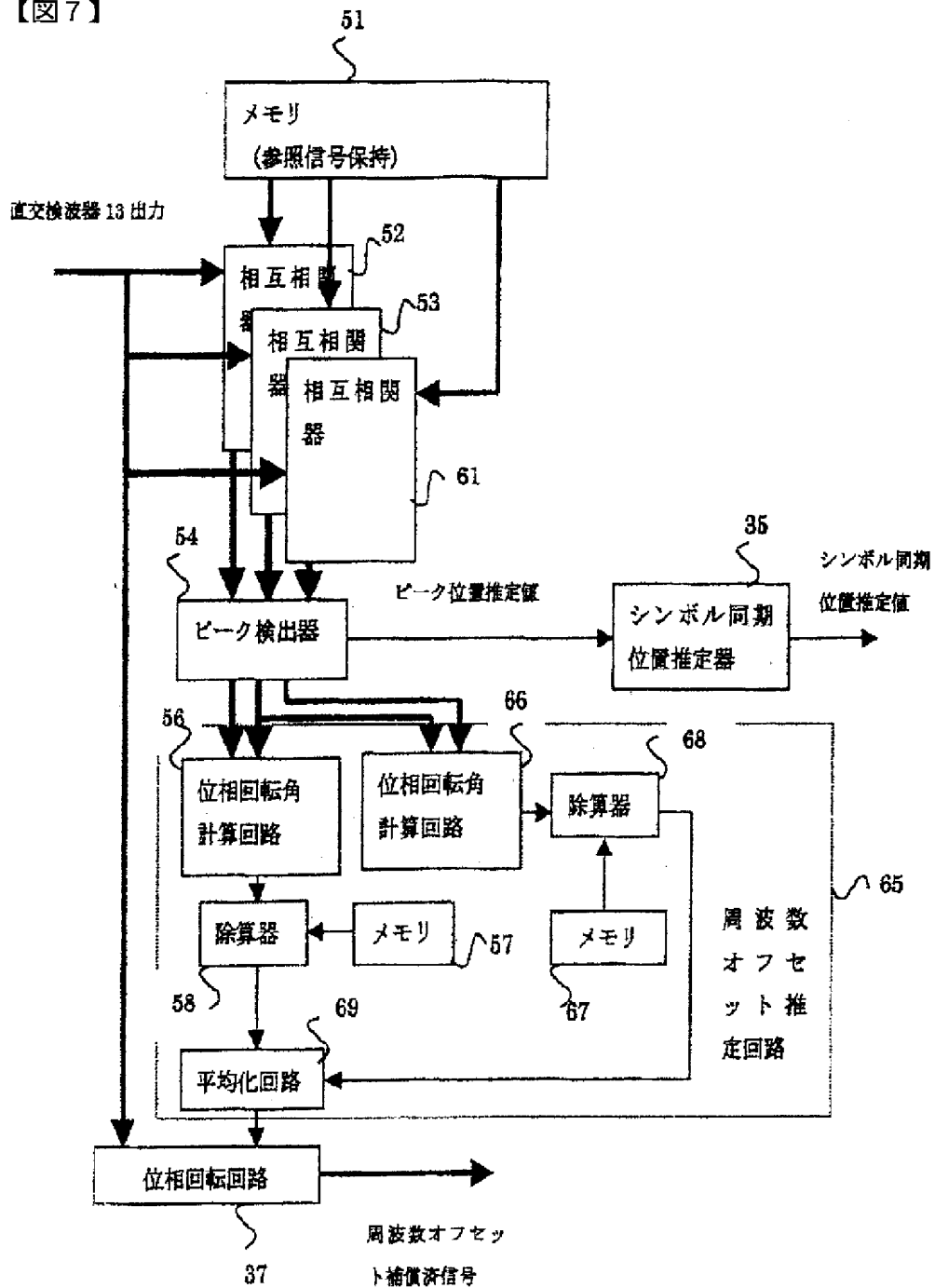
【図20】

【図20】



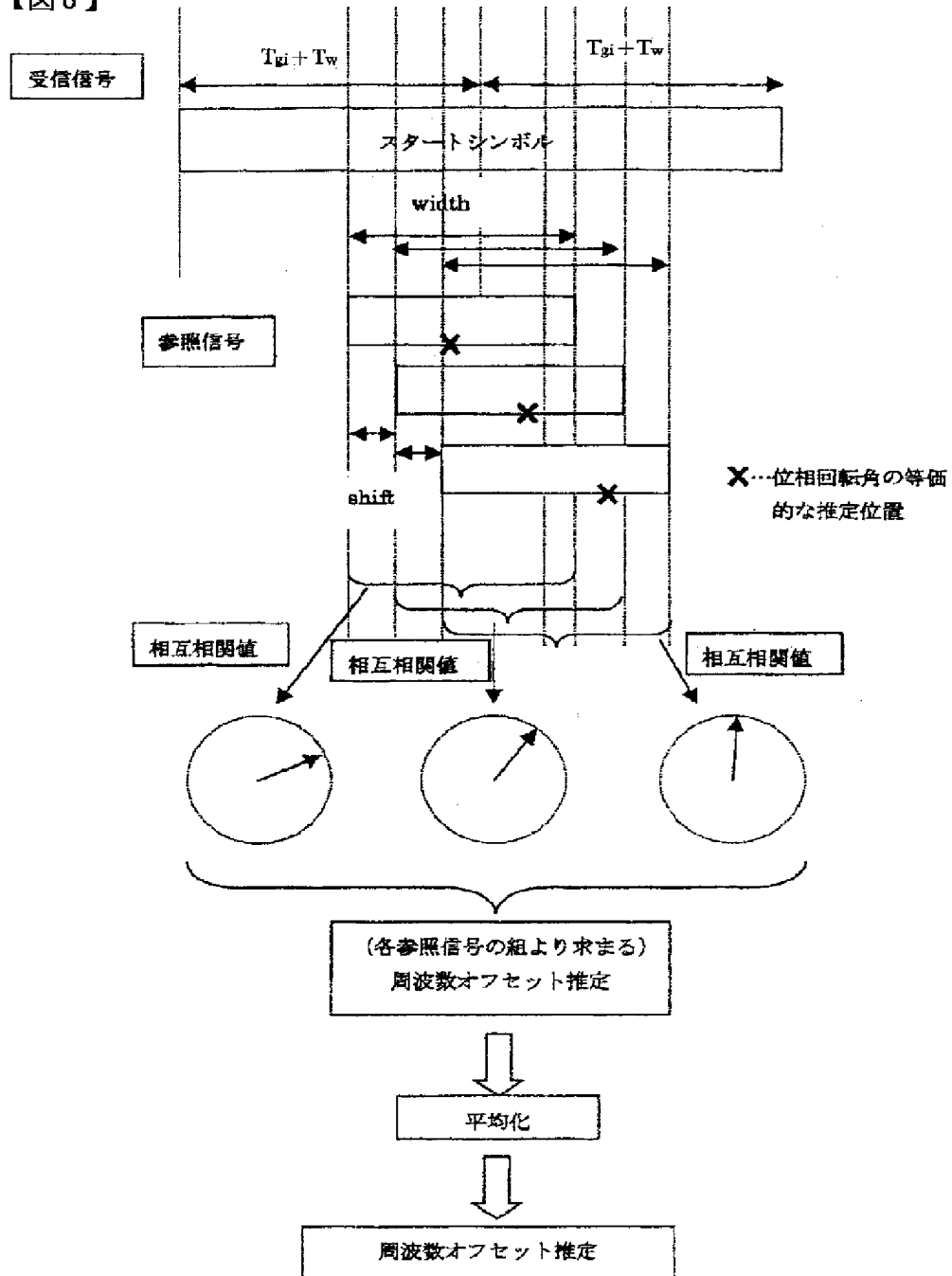
【図7】

【図7】

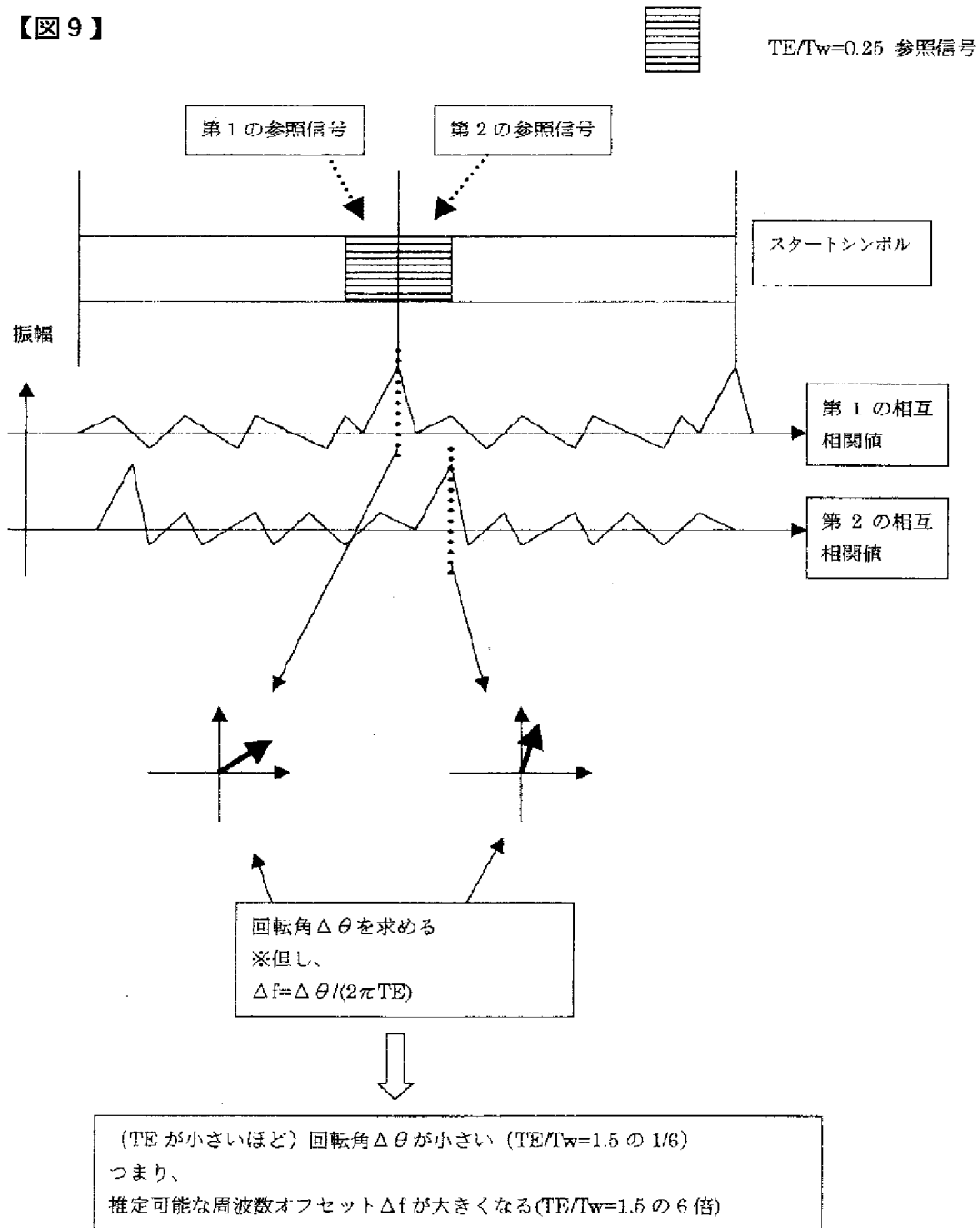


【図8】

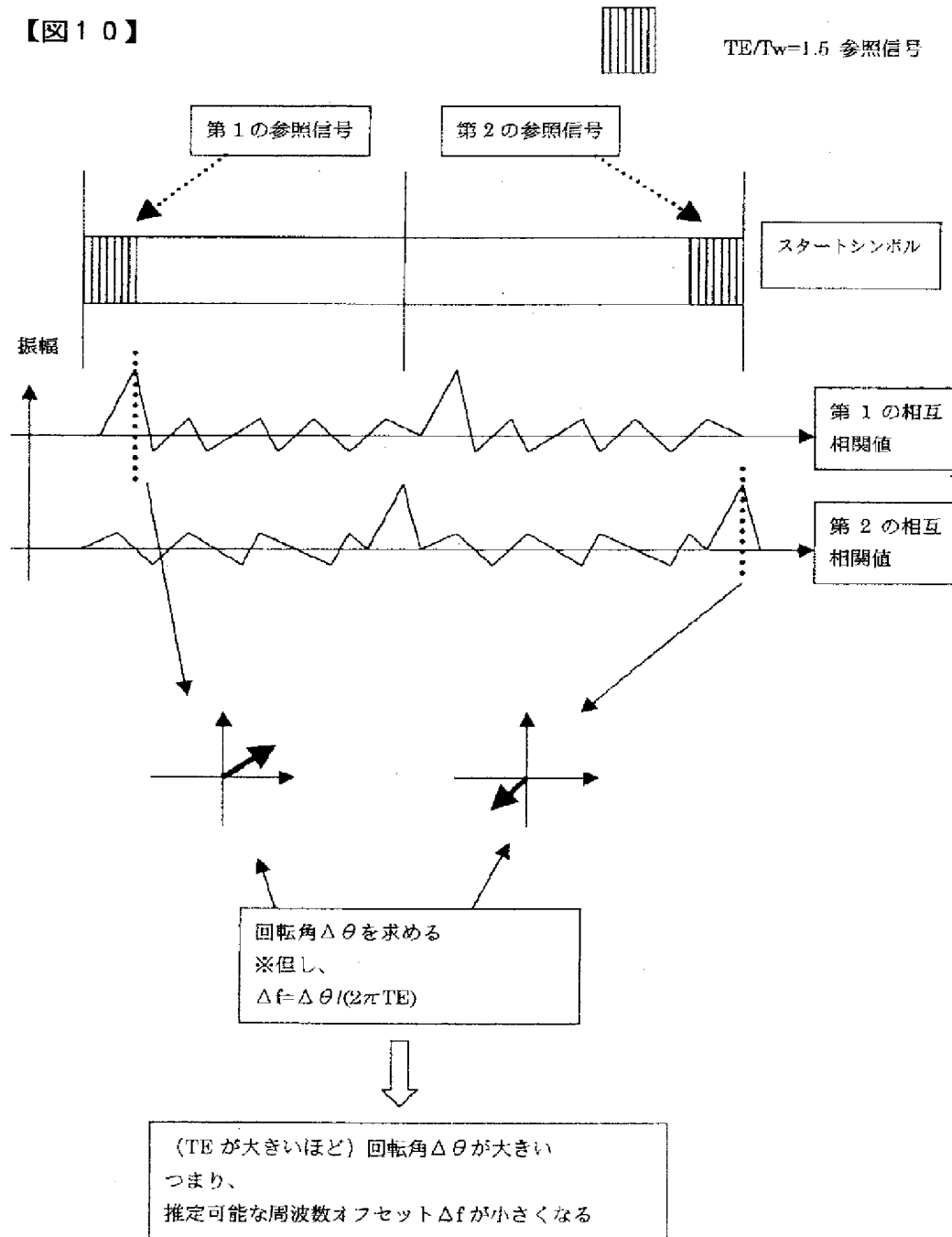
【図8】



【図9】

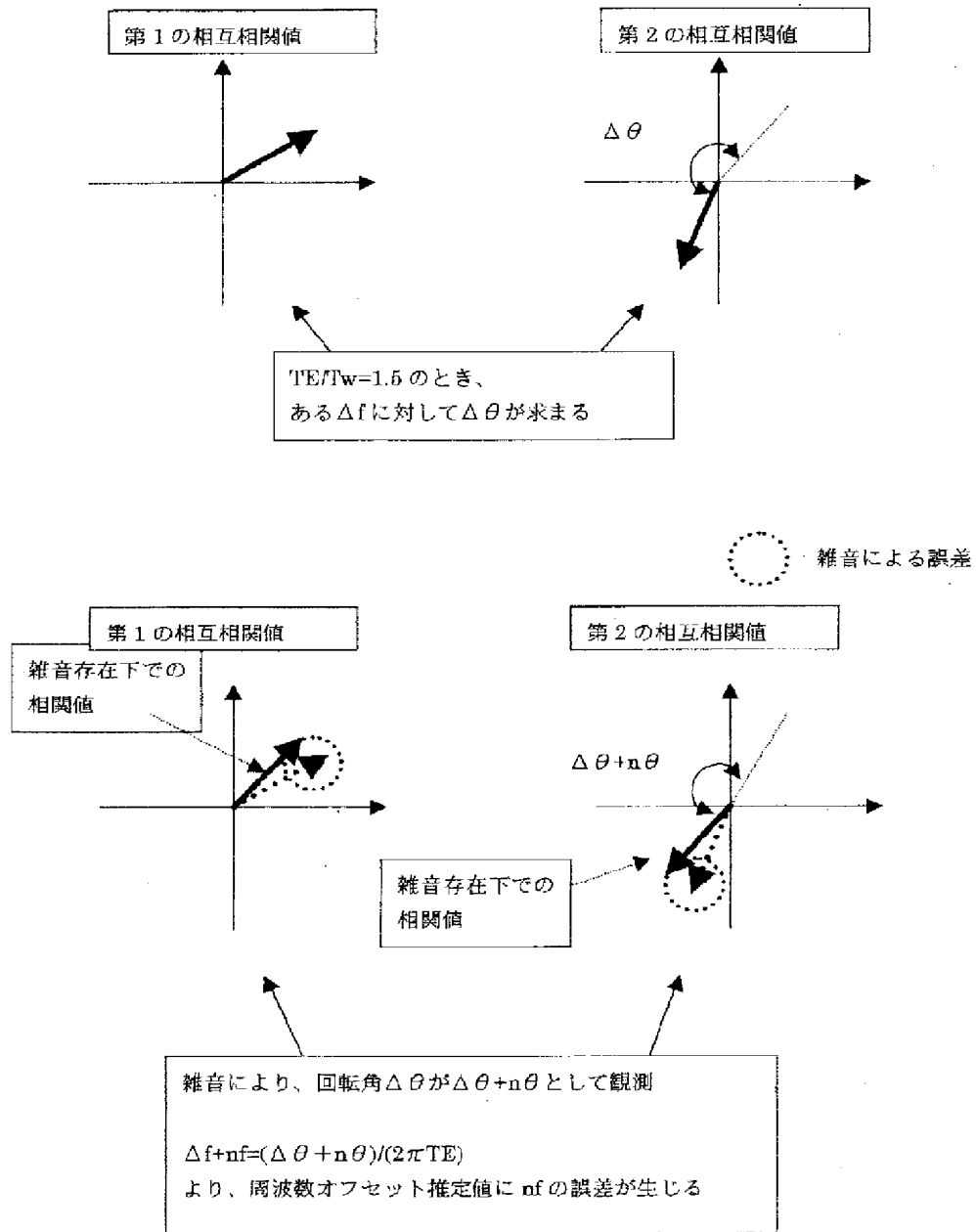


【図10】



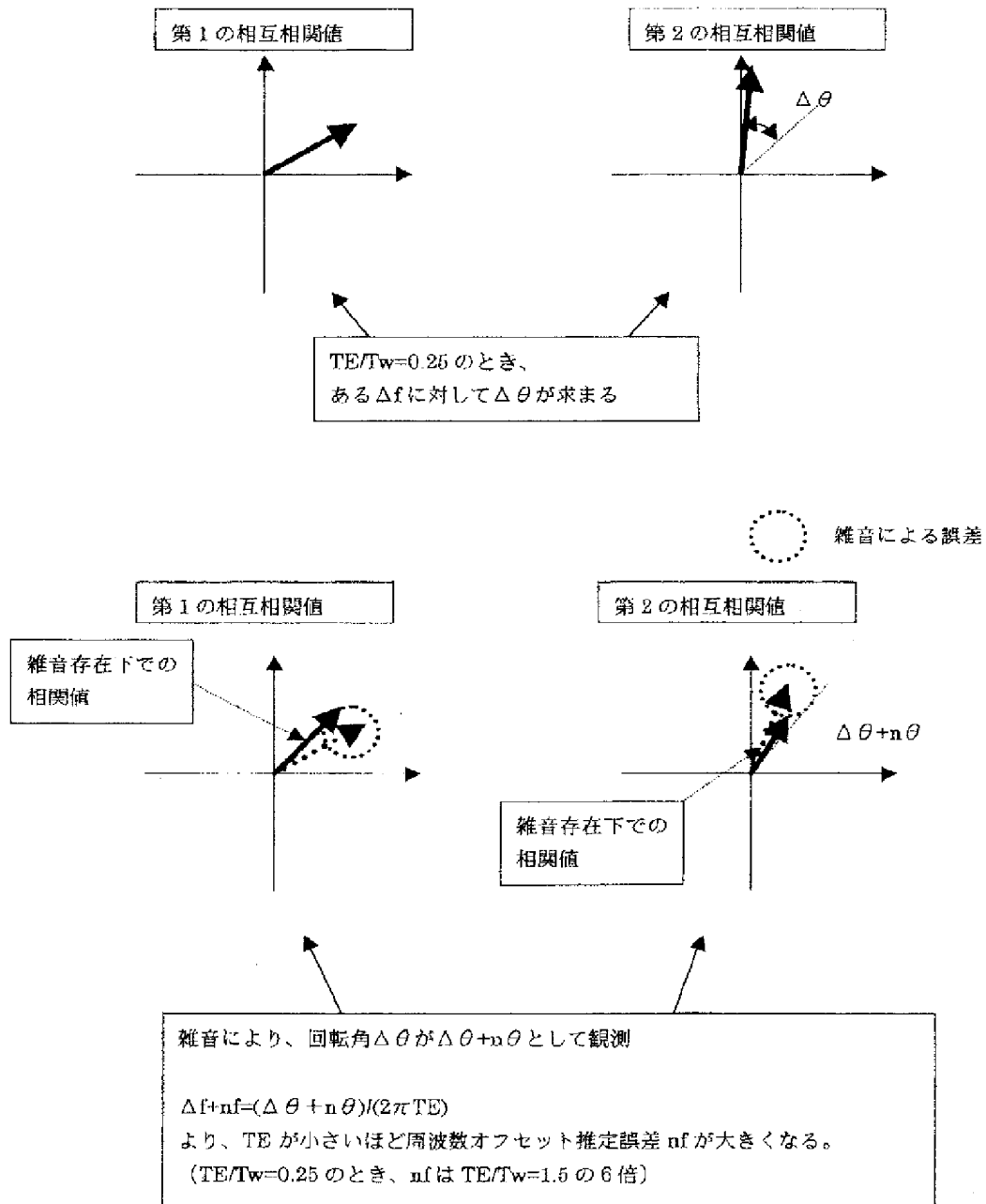
【図11】

【図11】



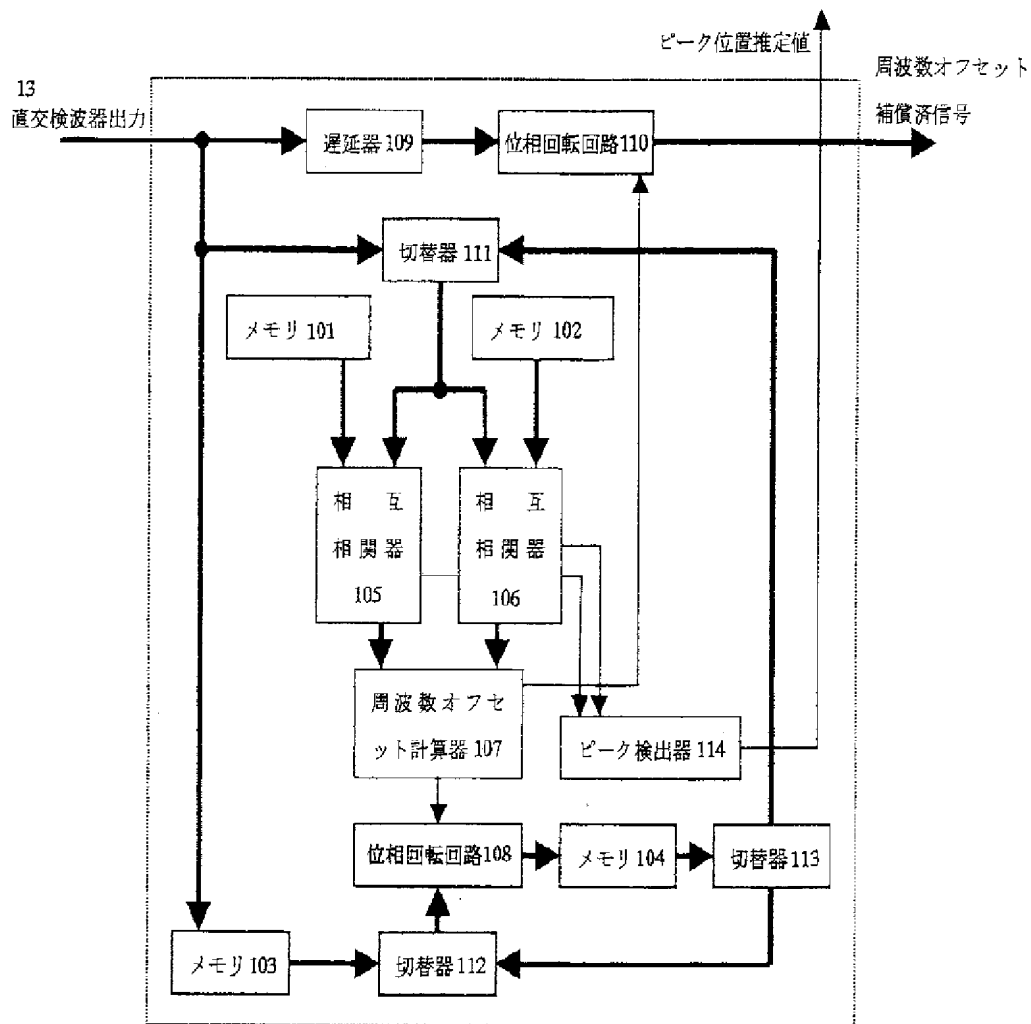
【図12】

【図12】

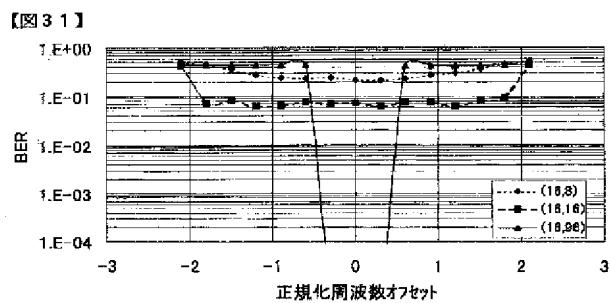


【例 15】

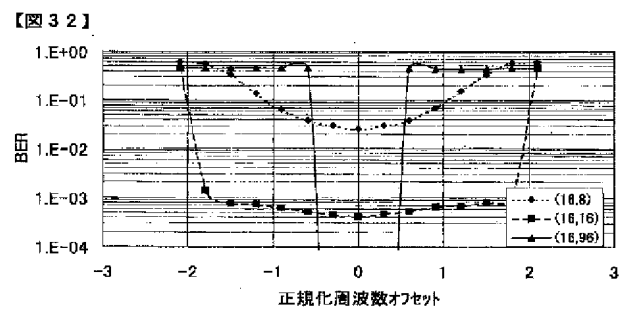
【图 15】



【図3 1】

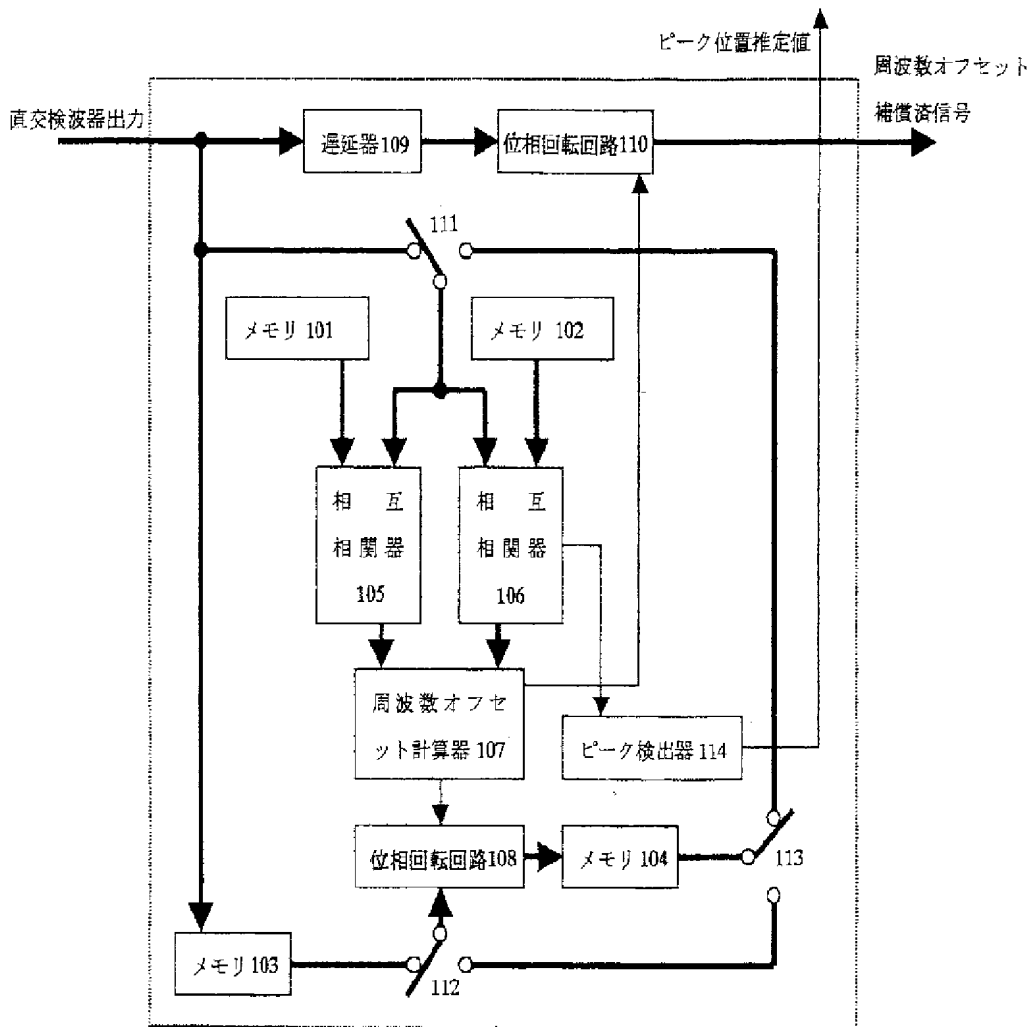


【図3 2】

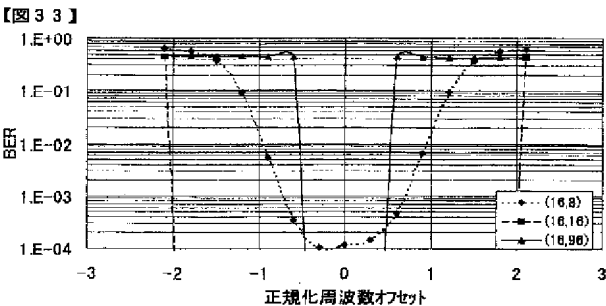


【図16】

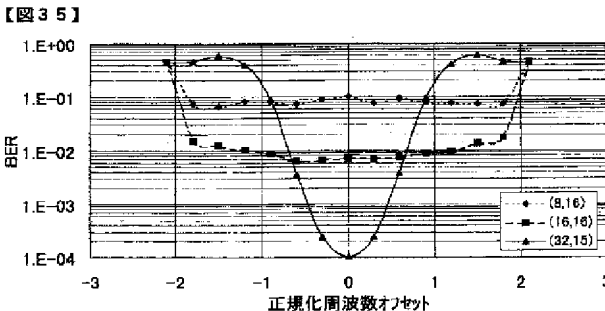
【図16】



【図33】

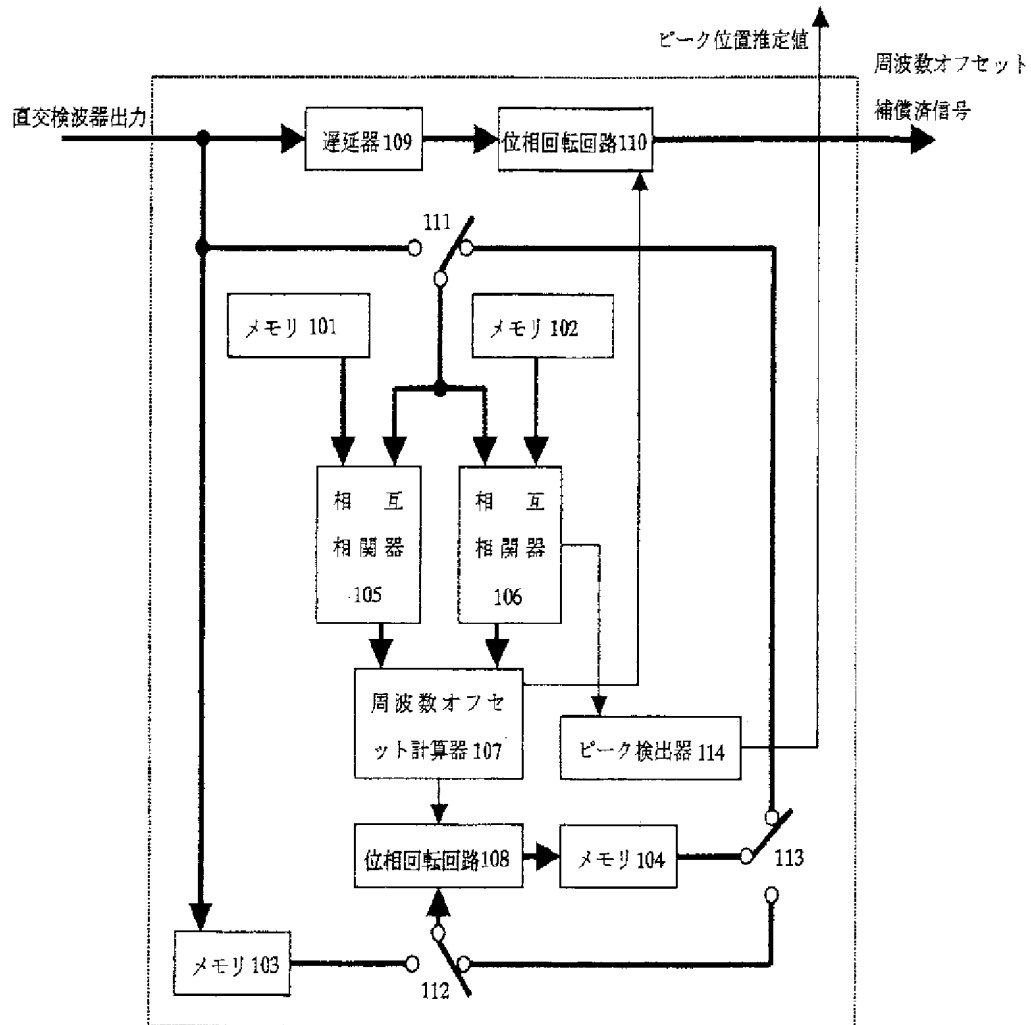


【図35】



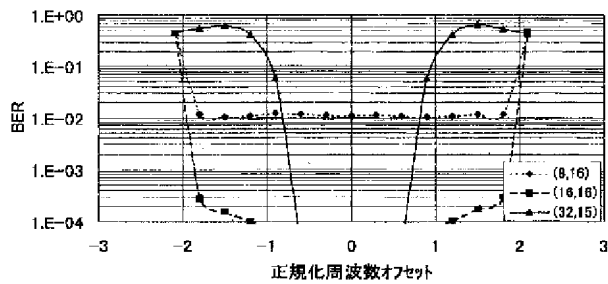
【図17】

【図17】



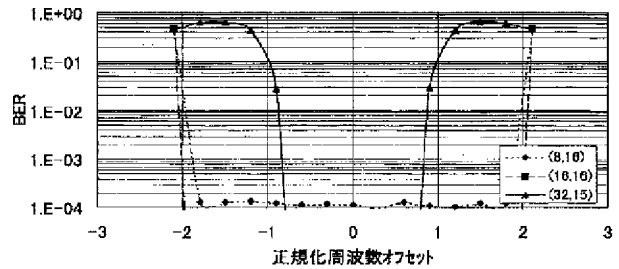
【図36】

【図36】



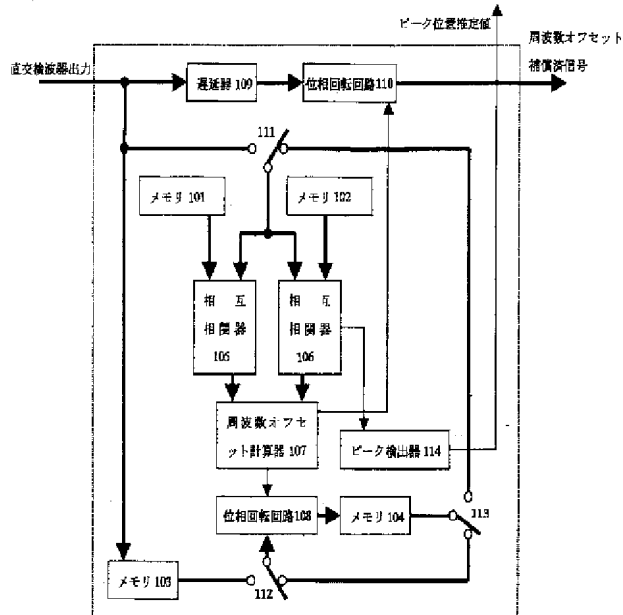
【図37】

【図37】



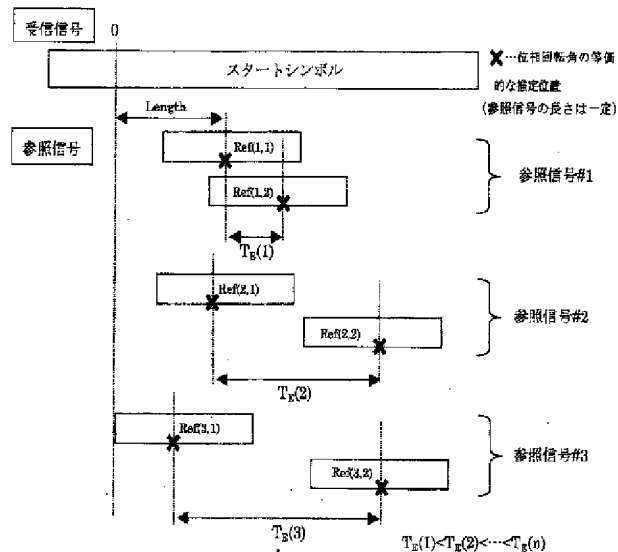
【図18】

【図18】



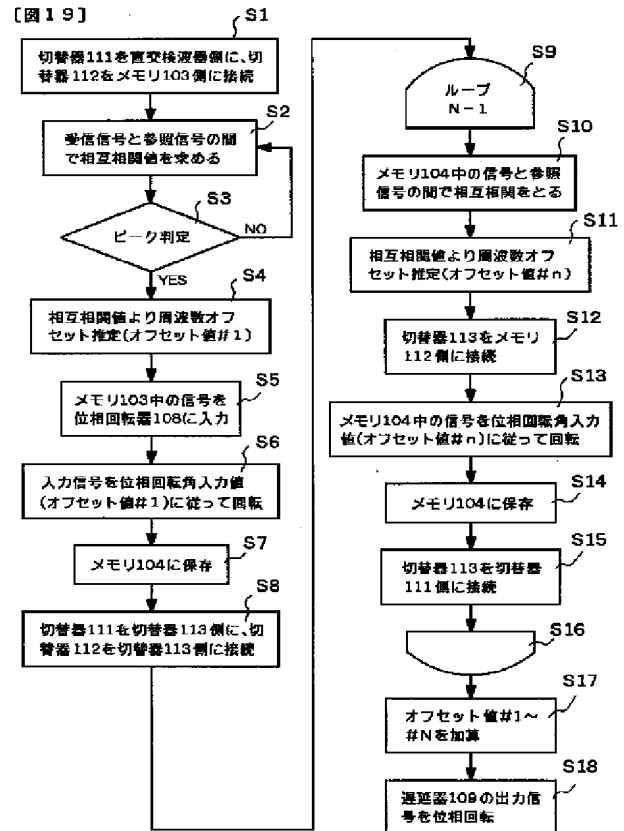
【図23】

【図23】



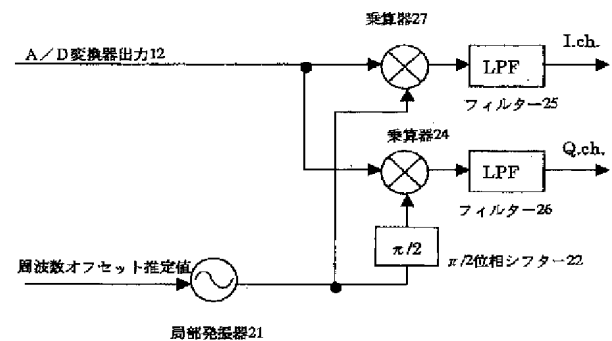
【図19】

【図19】



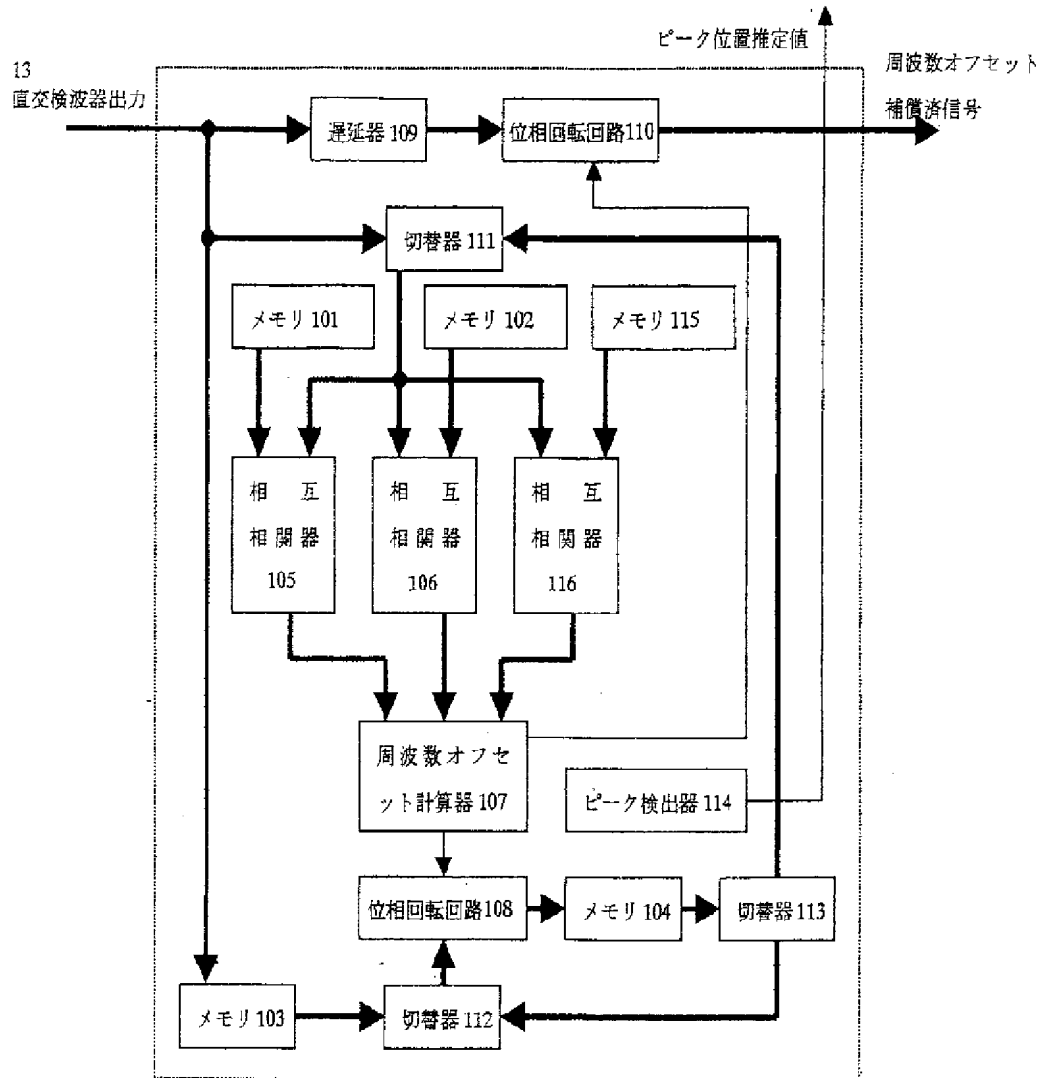
【図28】

【図28】



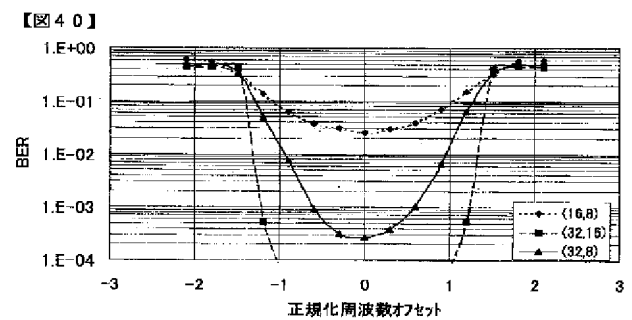
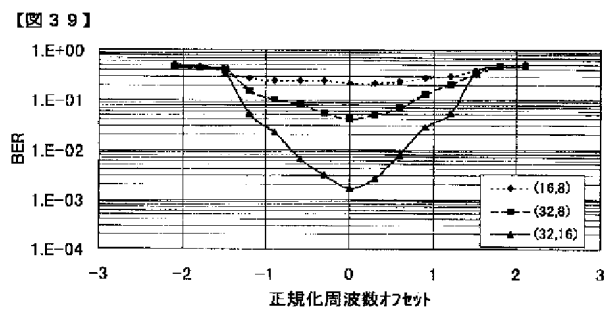
【图 2-1】

【图 2-1】



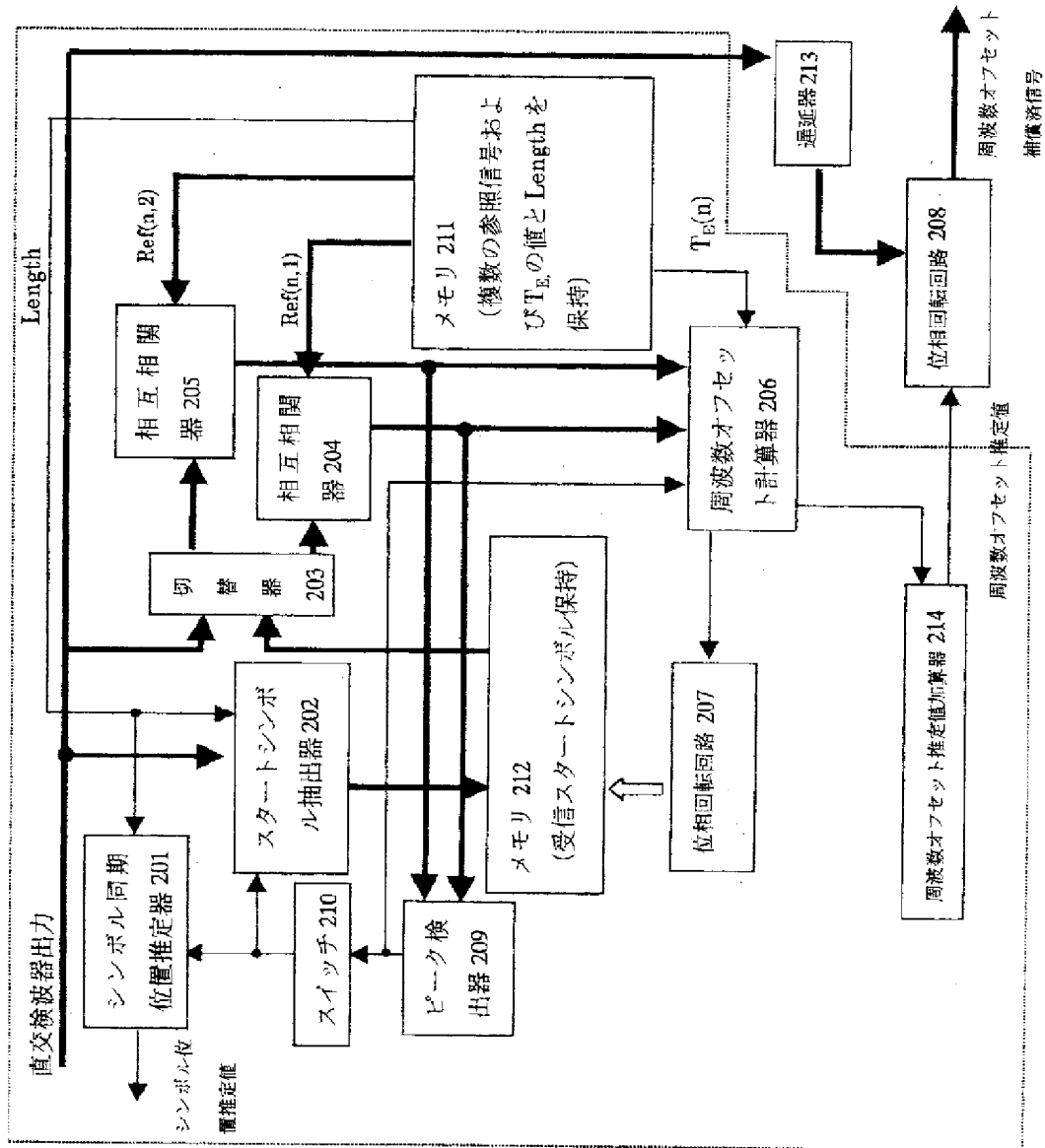
【图39】

【図40】



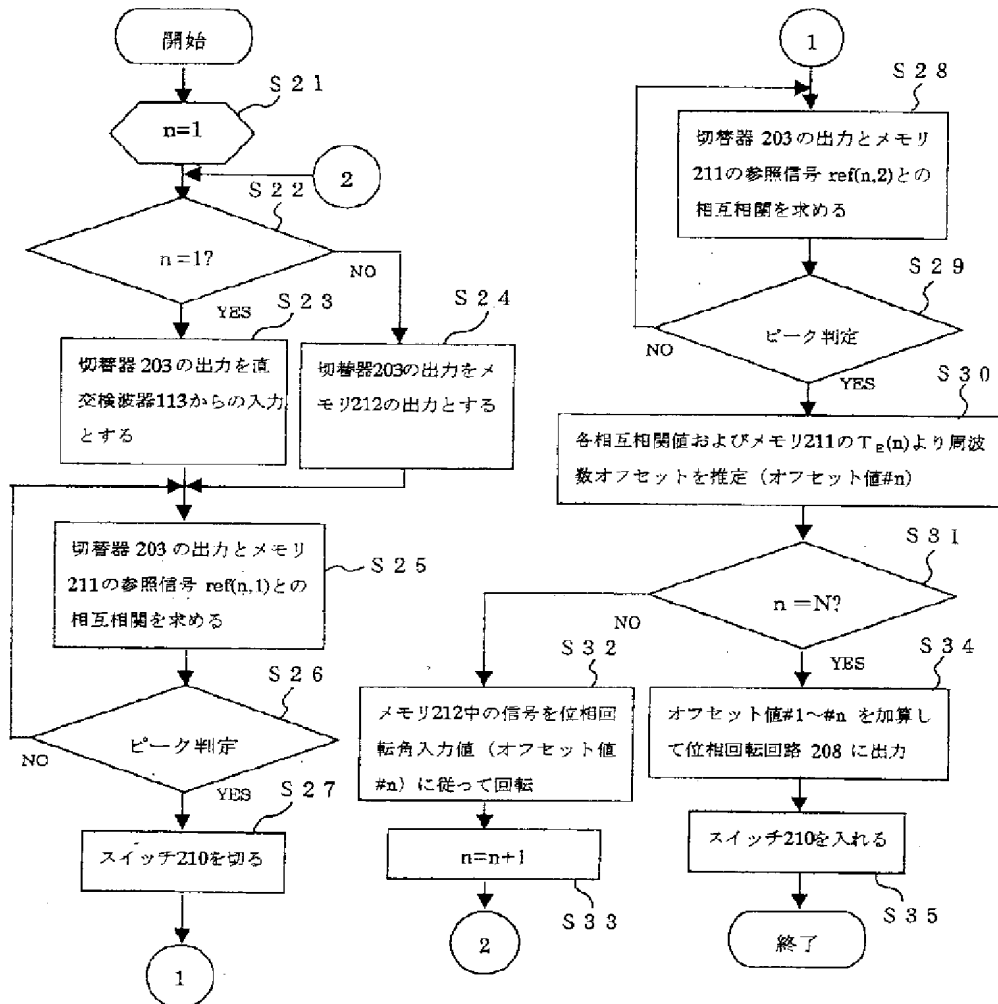
【図22】

【図22】



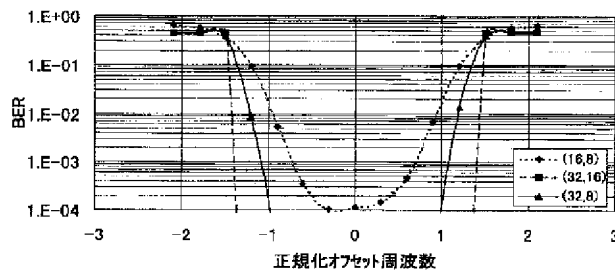
【図24】

【図24】



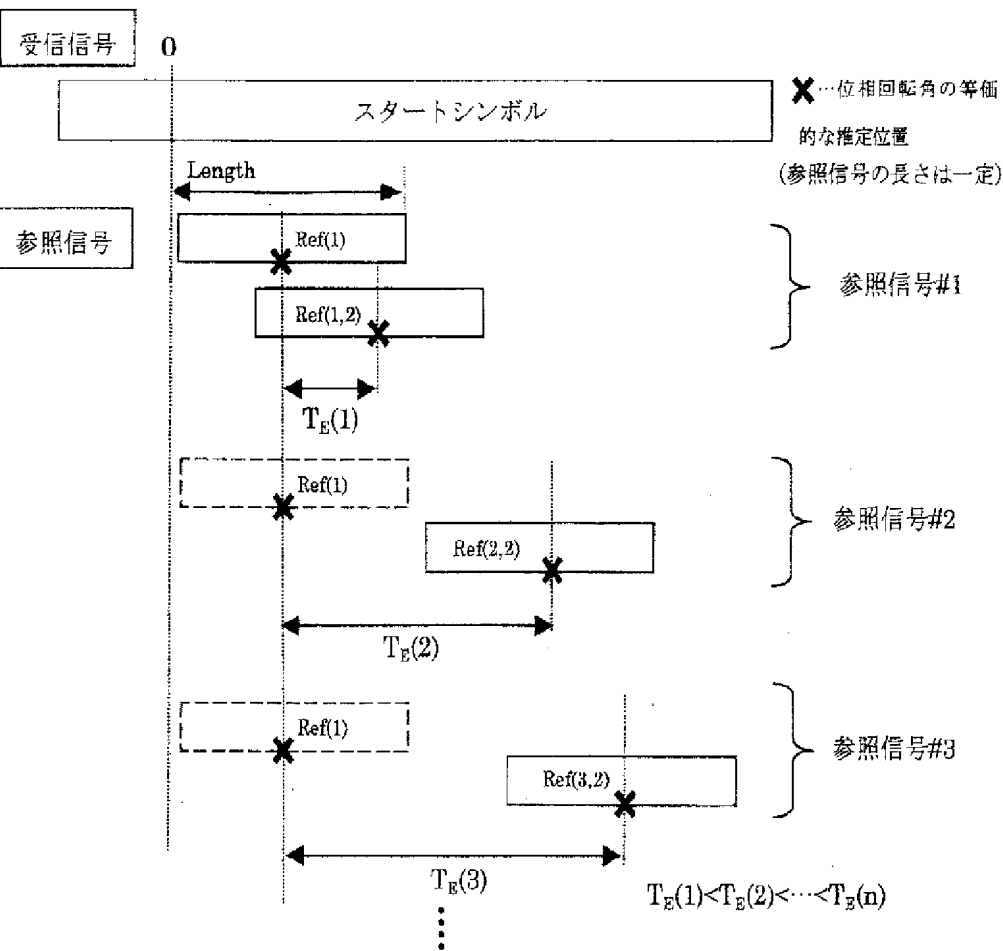
【図41】

【図41】

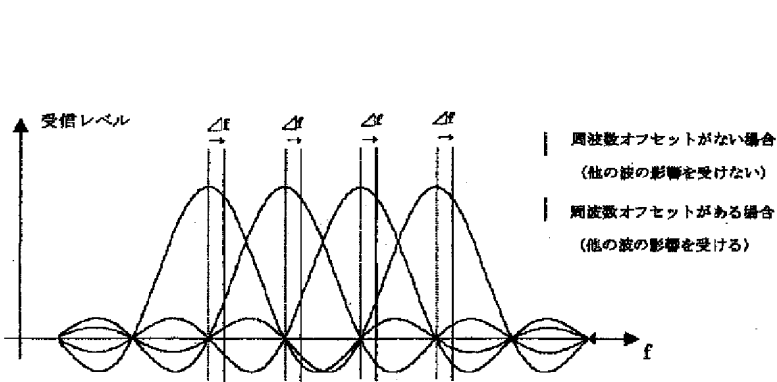


【図25】

【図25】



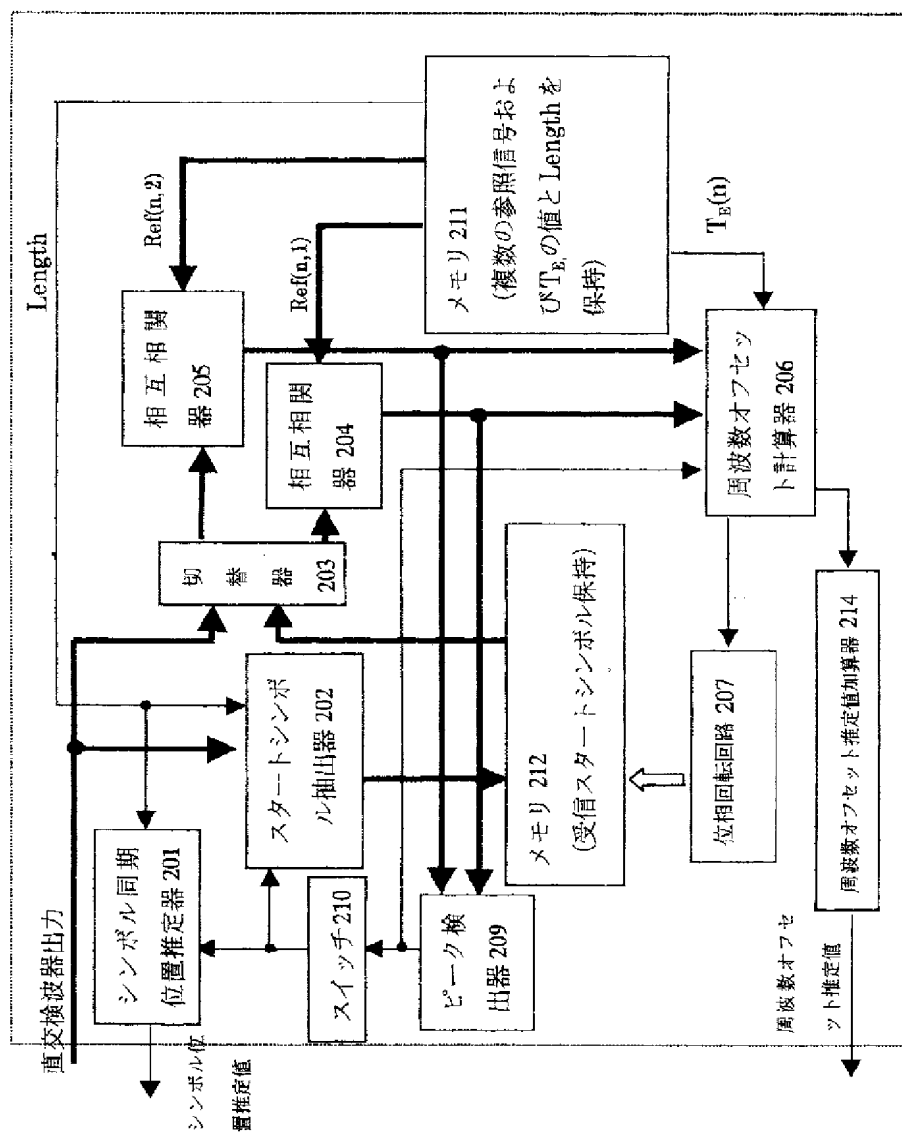
【図44】



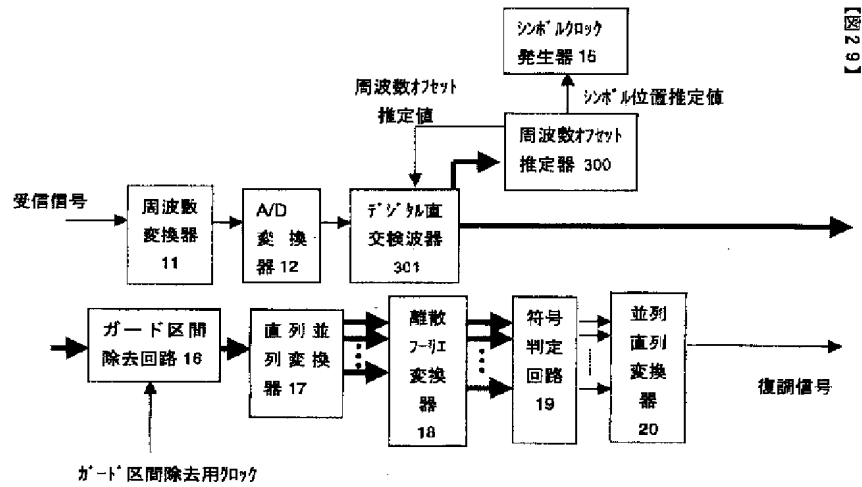
【図44】

【图 27】

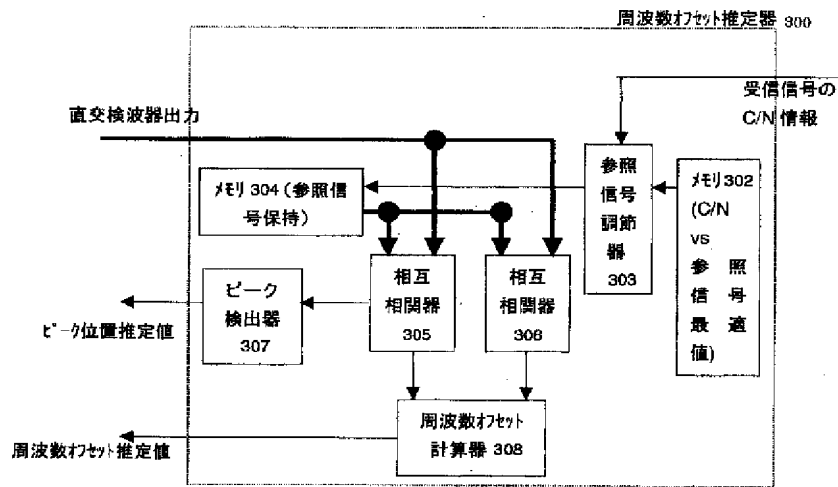
【図 27】



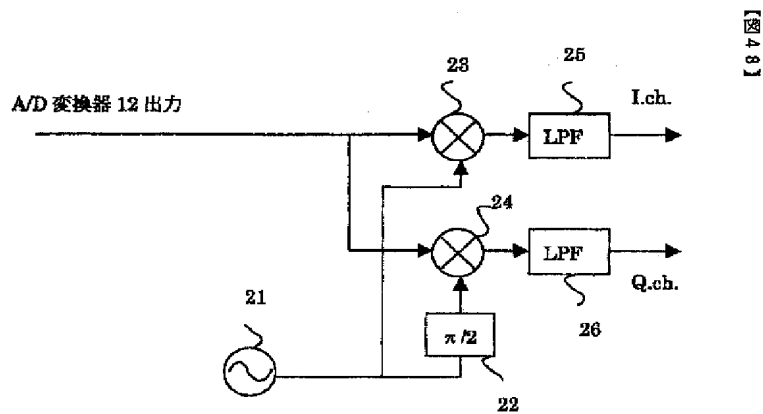
【図29】



【図30】

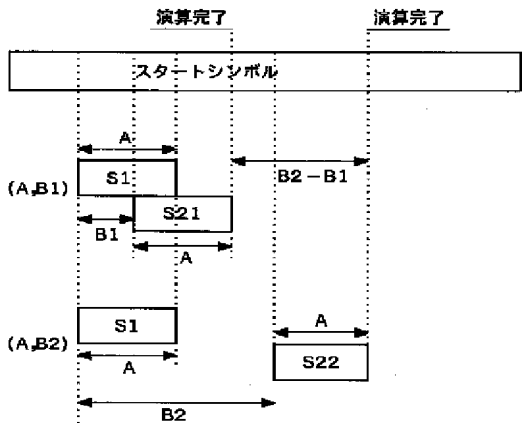


【図48】



【図34】

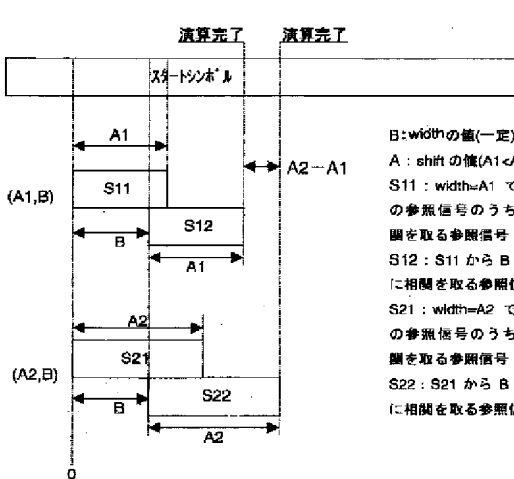
【図34】



A : widthの値(一定)
B : shiftの値($B1 < B2$)
S1 : width=Aである一対の参照信号のうち最初に相関を取る参照信号
S21: S1からB1だけシフト後に相関を取る参照信号
S22: S1からB2だけシフト後に相関を取る参照信号

【図38】

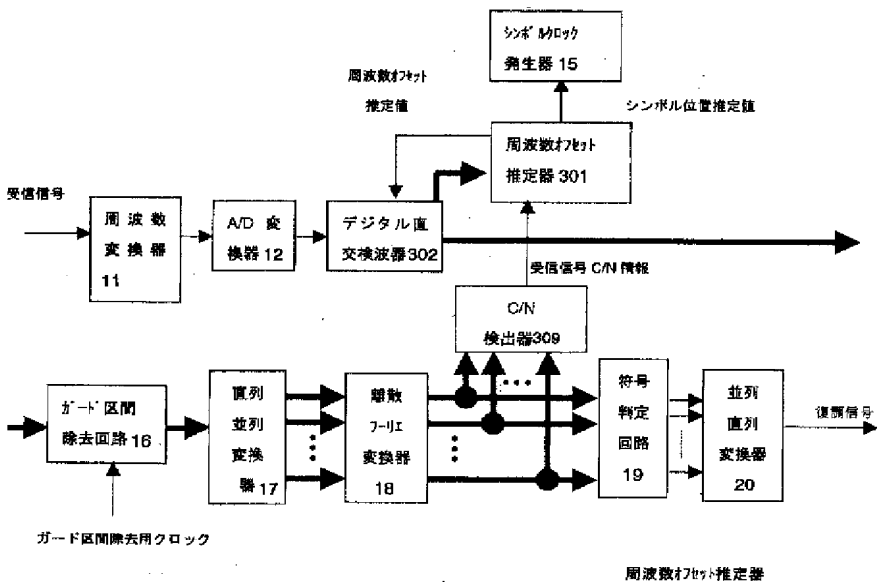
【図38】



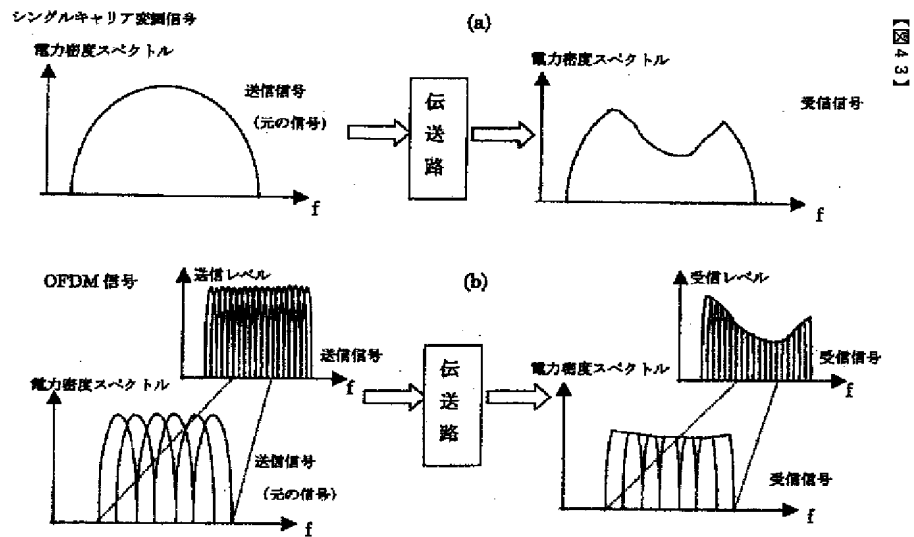
B:widthの値(一定)
A : shiftの値($A1 < A2$)
S11 : width=A1 である一対の参照信号のうち最初に相関を取る参照信号
S12 : S11 から B だけシフト後に相関を取る参照信号
S21 : width=A2 である一対の参照信号のうち最初に相関を取る参照信号
S22 : S21 から B だけシフト後に相関を取る参照信号

【図42】

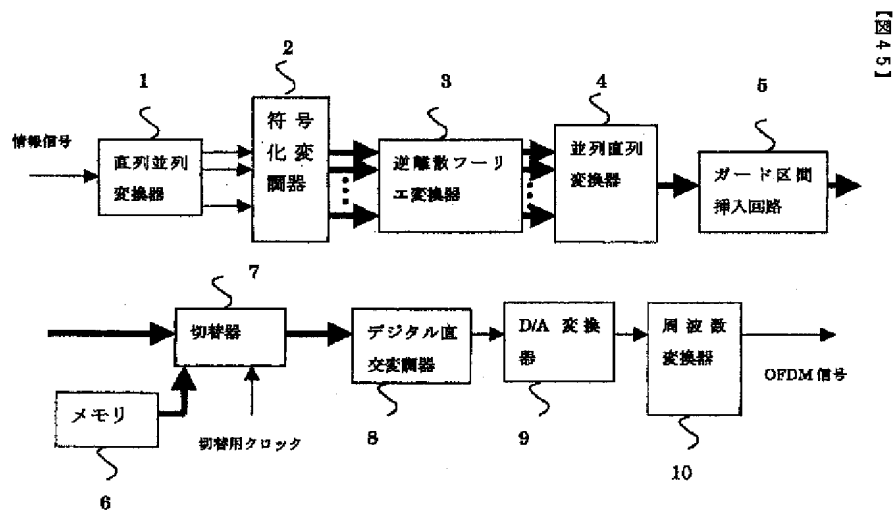
【図42】



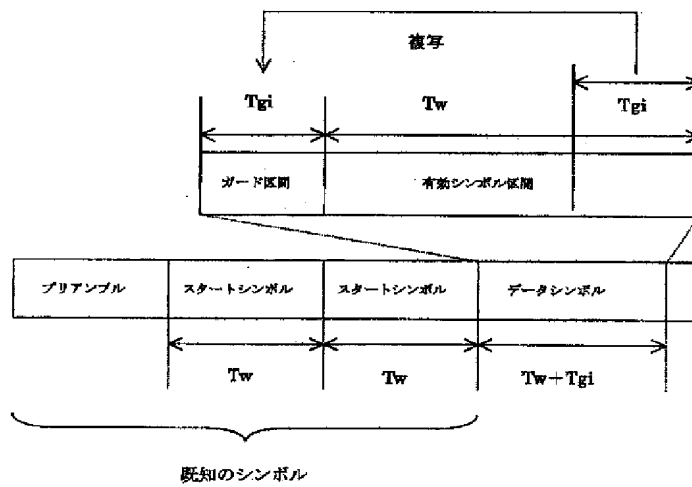
【図43】



【図45】

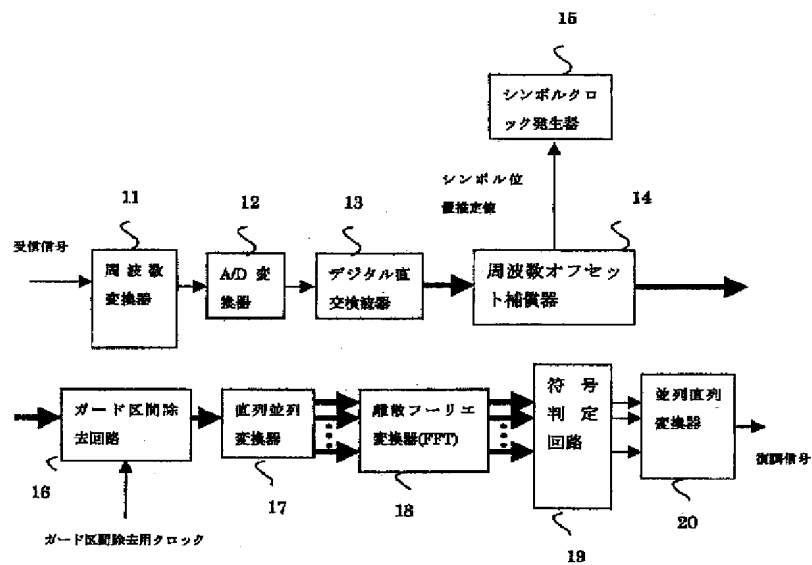


【図46】



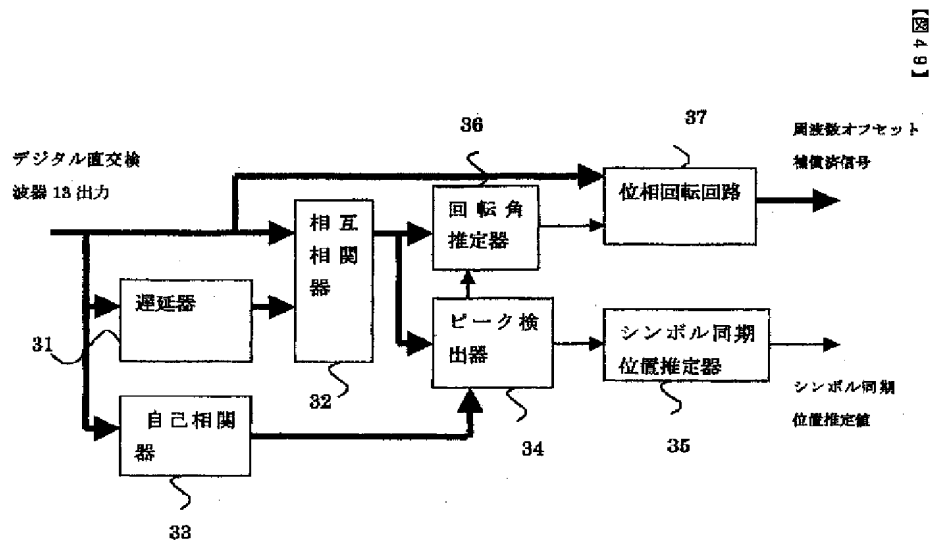
【図46】

【図47】

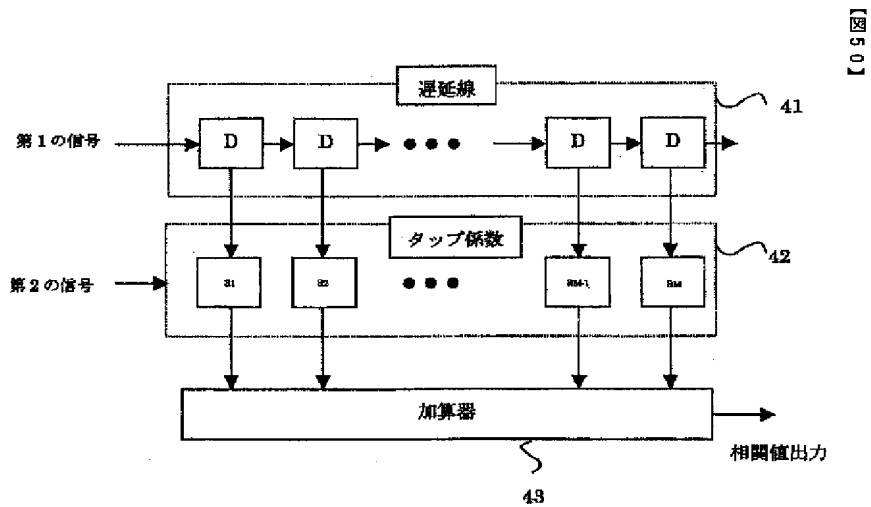


【図47】

【図49】

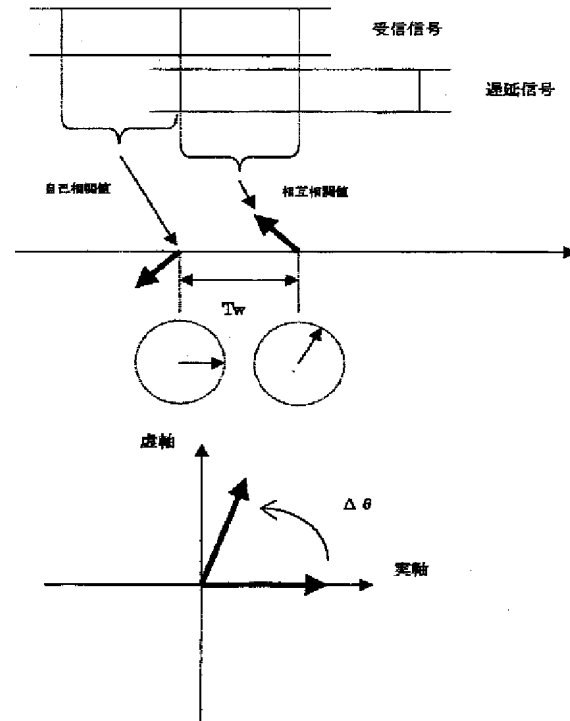


【図50】



【図51】

【図51】



フロントページの続き

(72)発明者 坪井 秀和
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ヤーフ株式会社内
(72)発明者 吉本 貴司
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ヤーフ株式会社内

Fターム(参考) 5K022 DD00 DD13 DD17 DD19 DD34
DD43
5K047 AA01 BB01 CC01 EE00 GG26
HH01 HH03 HH15 MM12 MM13
MM24